

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA REMOÇÃO DE PLANTAS DANINHAS EM CANTEIROS DE HORTALIÇAS

RODRIGO TABORDA CORRÊIA DE OLIVEIRA¹, MARCUS VINICIUS MORAIS DE OLIVEIRA², MURILO MACHADO DE BARROS³, ANDERSON GOMIDE COSTA³

¹ Eng. Agrícola e Ambiental, UFRRJ, Seropédica - RJ , (21) 99614-5103 e-mail:rodtaborda@hotmail.com

² Eng. Agrícola e Ambiental, Prof. Doutor Departamento de Engenharia UFRRJ, Seropédica - RJ

³ Eng. Agrícola, Prof. Doutor Departamento de Engenharia UFRRJ, Seropédica - RJ

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: O trabalho proposto abordou os aspectos relacionados ao desenvolvimento do protótipo de uma capinadora de plantas daninhas para canteiros de hortaliças, desde seu projeto conceitual, até a construção e avaliação do protótipo físico experimental. O *brainstorming* e formação de matriz morfológica foram as técnicas utilizadas para o desenvolvimento do modelo conceitual. O protótipo virtual foi concebido com o auxílio da plataforma SolidWorks® e a construção do modelo físico envolveu a fabricação de peças. Identificou-se que o conceito do protótipo é funcional, sendo necessários ajustes para aumentar a eficiência de operação. A capacidade de campo efetiva da máquina foi maior que a da capina manual. Ressalta-se também o benefício ergonômico com o uso do protótipo. Para trabalhos futuros será realizado o aperfeiçoamento do protótipo, estudos econômicos e análise de mercado com intuito de torná-la comercial.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto de Máquinas Agrícolas. Controle de Planta Daninha. Controle Mecânico de Planta Daninha.

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE TO REMOVE WEEDS IN VEGETABLES BEDS

ABSTRACT: This work dealt with aspects related to the development of the weed remover prototype, from its conceptual design to the construction and evaluation of the experimental physical prototype. Techniques for developing the conceptual model as brainstorming and morphological matrix formation were used. The virtual prototype was designed with SolidWorks® platform and the construction of the physical model involved parts fabrication. The concept of the prototype was identified as functional, and adjustments are needed to increase the operating efficiency. The effective field capacity of the prototype was bigger than hand weeding. The ergonomic benefit with the use of the prototype should also be emphasized. For future works, there will be the improvement of the prototype, economic studies and market analysis in order to make it commercial.

KEYWORDS: Agricultural Machinery Project. Weed Control. Mechanical Weed Control.

INTRODUÇÃO

Dentre os problemas enfrentados pela agricultura, o surgimento de plantas daninhas em meio a cultura é um dos principais. São definidas, de maneira ampla, como "toda e qualquer planta que ocorre onde não é desejada" (SHAW, 1982). Já Richetti (2003), define mais especificamente como toda espécie vegetal rústica que é adaptada às condições locais, resistente às intempéries e que nasce de forma espontânea.

Nas produções de cultivos comerciais, destaca-se a competição entre a cultura comercial e as plantas daninhas. As plantas daninhas competem com as espécies de relevância econômica, por nutrientes, luz solar, água, dentre outros (SHAW, 1982). Sabe-se que essa competição entre plantas diferentes pode trazer efeitos negativos na germinação, crescimento e desenvolvimento em uma espécie ou em todas as que participam da competição e por consequência prejuízos econômicos.

Existem diversas medidas já adotadas com o intuito de minimizar o surgimento das plantas daninhas, embora não exista nenhuma técnica que seja capaz de reduzir em zero o surgimento dessas no cultivo comercial das hortaliças. A remoção das mesmas em canteiros é feita de forma manual, que traz muitos transtornos a saúde do física e mental do trabalhador (IIDA, 1997) e (MONTEIRO, 2004), ou química, que prejudica o meio ambiente (DITOMASO, 2013). Segundo Brandão (2015), essa remoção constante não dá tempo suficiente para que a quebra da dormência de novas plantas daninhas se desenvolvam e reinfestem a área.

Considerando todo o exposto até o momento, o desenvolvimento de uma máquina resultaria numa ótima solução capaz de realizar um trabalho mais eficiente. Essa forma atual é precária, pouco eficiente e que de certa maneira coloca em risco a saúde do trabalhador devido à posição de trabalho desconfortável.

Objetivou-se com este trabalho o desenvolvimento de um protótipo capaz de remover plantas daninhas de canteiros de hortaliças. O trabalho justificou-se tendo em vistas uma série de vantagens para a agricultura de forma geral, tanto no aspecto econômico como no aspecto social. Sob o aspecto econômico, a maior eficiência da remoção das plantas daninhas reduzirá o tempo ou número de trabalhadores para desempenhar a função. No que tange ao aspecto social, pode-se citar a melhora da postura de trabalho, que de forma indireta reduz os custos também. Tal fato torna ainda mais importante o desenvolvimento do protótipo, visto que solucionaria a problemática atual de maneira eficiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolvimento do projeto conceitual e do protótipo virtual

A parte teórica do projeto foi elaborada no Departamento de Engenharia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola, km 47, Município de Seropédica, Rio de Janeiro.

Os requisitos da máquina foram estabelecidos considerando a realidade do pequeno produtor de hortaliças, em sistemas de canteiro, com pouco uso de tecnologia e pouco aporte financeiro. No desenvolvimento do conceito do protótipo, utilizou-se a metodologia de projeto proposta por Pahl & Beitz (2003). A partir do momento em que o problema foi definido utilizou-se o método de *brainstorming* (tempestade de ideias), associado ao método de matriz morfológica.

Na sequência, foram determinadas as seguintes subfunções: Arrancar a planta; Transportar a planta; Sustentar a máquina; Fornecer energia; Mover a máquina. Em um segundo momento, depois de todas as subfunções definidas, a etapa de formações de ideias

iniciou-se com o auxílio do método brainstorming. Na terceira etapa, a matriz morfológica das subfunções da máquina (linhas) e os mecanismos de solução (colunas) foi montada com o objetivo de determinar diversas variantes para solucionar um problema específico. Na etapa subsequente, cada maneira de realizar determinada subfunção foi avaliada de acordo com os fatores técnicos, recebendo as pontuações dentro da faixa estabelecida, de 6 a 10, sendo o 6 para o pior e 10 para o melhor. O mesmo procedimento foi adotado para os fatores econômicos, com notas de 10 a 6, sendo o 10 para o pior e 6 para o melhor. A partir das notas das subfunções nos quesitos técnicos e econômicos já estabelecida, foi utilizada a equação (1) para determinar a pontuação final de cada mecanismo das subfunções.

$$Pf = \frac{Nt}{Ne} \quad (1)$$

em que,

Pf – Pontuação final;

Nt – Nota técnica, e

Ne – Nota econômica.

As pontuações finais de cada mecanismo, de cada subfunção, foi somada aos outros mecanismos de subfunção nas 5 variantes previamente estabelecidas. A variante com a maior nota definiu o conceito do protótipo.

A plataforma CAD (Computer Aided Design) SolidWorks® 2010 foi utilizada nas etapas de desenvolvimento do projeto conceitual e do protótipo virtual da máquina. O produto pertence a Dassault Systèmes SolidWorks Corp. e oferece ferramentas de software 3D que permitem a criação, simulação e gerenciamento de dados. As medidas utilizadas nessa etapa foram sempre em padrões comerciais para facilitar a montagem futura do protótipo.

Construção, avaliação e ensaio do protótipo físico

O protótipo foi construído no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola e a fabricação de peças fabricada por meio de tornearia especializada.

A capinadora foi avaliada quanto à sua eficiência no controle das plantas daninhas em canteiros de hortaliça fazendo-se um levantamento quantitativo e qualitativo das plantas, antes e após as operações de capina. Antes do ensaio, as plantas daninhas foram identificadas, quanto às espécies e tamanhos médios, sendo quantificadas por unidade de área (1m²), antes e após as capinas mecânicas e manuais. Também foi avaliado se o sistema radicular das plantas daninhas foi efetivamente arrancado, assim como o tempo das operações foi contabilizado. Foram observados visualmente os possíveis pontos positivos e negativos da máquina.

Para o ensaio, foram determinadas 6 áreas de 1m² sob os canteiros. Utilizou-se o protótipo para fazer a capina em três áreas demarcadas e nas restantes foi realizada a capina manual. Foi contabilizado o total de plantas daninhas em cada uma das áreas individualmente antes e após a remoção pelo protótipo e pela capina manual. O protótipo foi testado nas áreas 1, 3 e 5 e a capina manual realizada nas áreas 2, 4, 6, ou seja, três repetições para cada ensaio.

Cálculo de eficiência geral, eficiência de remoção de plantas com o sistema radicular e capacidade operacional

O cálculo de eficiência geral de remoção considerou remoção como a retirada da parte aérea com ou sem sistema radicular. A equação (2) foi utilizada para calcular a eficiência de remoção das plantas daninhas nas áreas.

$$et (\%) = \frac{Pr}{Pt} \times 100 \quad (2)$$

em que,

e_r – Eficiência de remoção das plantas daninhas;

Pr – Número de plantas removidas, e

Pt – Número de plantas totais.

O cálculo de eficiência de remoção de plantas com o sistema radicular considerou a remoção como a retirada da planta com o sistema radicular. Para o cálculo de eficiência de remoção de plantas com o sistema radicular, utilizou-se a equação (3):

$$es (\%) = \frac{Ps}{Pr} \times 100 \quad (3)$$

em que,

e_s – Eficiência de remoção das plantas daninhas com sistema radicular;

Ps – Número de plantas removidas com sistema radicular, e

Pr – Número de plantas removidas.

Calculou-se capacidade de campo efetiva pela equação citada por Milan (2006). A equação (4) foi utilizada para o cálculo da capacidade operacional.

$$Cce = \frac{At}{Tp} \quad (4)$$

em que,

CCe - Capacidade de campo efetiva em m^2/min ;

At - Área trabalhada em m^2 , e

Tp - Tempo gasto para as operações em minutos

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Projeto conceitual

Com a definição das subfunções, a matriz morfológica foi montada, depois de fornecidas as ideias pelo método do *brainstorming*. A Figura 1 ilustra a matriz morfológica obtida após a realização do *brainstorming*. A Já a Tabela 1 demonstra as cinco variantes formadas utilizando as subfunções da matriz morfológica como princípios de solução.

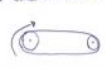









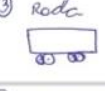



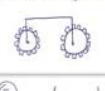









Solução	S1	S2	S3	S4	S5
F1 - Arrancar Planta	① Esteira adesiva 	① Mecanismo de eixos dentados 	① Mecanismo de garras 	① Mecanismo de eixos lisos 	① Mecanismo de Pinças 
F2 - Transportar planta	② Manual 	② Mecanismo de esteira 	② Ventilador 	② Braço Mecânico 	② Escova 
F3 - Sustentar máquina	③ Roda 	③ Rolos 	③ Trator 	③ Esqui 	
F4 - Fornecer Energia	④ Tração de engrenagens 	④ Mecanismo de pedal 	④ Animal 	④ Motor elétrico 	④ Motor a Combustão 
F5 - Mover Máquina	⑤ Animal 	⑤ Tração humana 	⑤ Motor elétrico 	Trator 	⑤ Motor a Combustão 

Figura 1. Matriz de morfológica obtida após a realização do brainstorming. F1S1 - Esteira adesiva; F1S2 - Mecanismo de eixos dentados; F1S3 - Mecanismo de garras; F1S4 - Mecanismo de rolos; F1S5 - Mecanismo de Pinças. F3S1 - Rodas; F3S2 - Rolos; F3S3 - Trator; F3S4 - Esqui; F5S2 - Tração humana; F5S4 - Trator; F2S1 - Manual; F2S2 - Mecanismo de esteira; F2S3 - Ventilador; F2S4 - Braço mecânico; F2S5 - Escova; F4S1 - Tração de engrenagens; F4S2 - Mecanismo de pedais; F4S3 - Animal; F4S4 - Motor elétrico; F5S3 - Motor elétrico; F5S5 – Motor à combustão.

Tabela 1. Variantes de resultados provenientes da matriz morfológica (F-Subfunção; S-Solução)

Variante 1	F1S3	F2S3	F3S1	F4S5	F5S4
Variante 2	F1S1	F2S2	F3S3	F4S5	F5S5
Variante 3	F1S4	F2S5	F3S4	F4S4	F5S2
Variante 4	F1S5	F2S4	F3S3	F4S4	F5S5
Variante 5	F1S2	F2S1	F3S2	F4S4	F5S2

As notas possuíram variação de 6 a 10 para reduzir a diferença entre o melhor e pior mecanismo, tanto que poderia inviabilizar uma boa variante. A Tabela 2 demonstra as faixas de pontuação de acordo com a viabilidade técnica e valor econômico. Com base na Tabela 2, a maior pontuação final foi atingida pela variante 3 (Tabela 3).

Tabela 2. Faixa de pontuação técnica e econômica para análise das variantes

Aplicação Técnica	Pontuação	Valor Econômico	Pontuação
Péssimo	6	Custo baixo	6
Ruim	7	Custo regular	7
Regular	8	Custo médio	8
Boa	9	Custo alto	9
Excelente	10	Custo elevado	10

Tabela 3. Pontuação final (PF) de cada variante

		F1SX	F2SX	F3SX	F4SX	F5S	Somatório	PF
Variante 1	Pontuação técnica	6	9	8	10	7	40	0,98
	Pontuação econômica	7	7	7	10	10	41	
Variante 2	Pontuação técnica	7	9	7	10	10	43	0,93
	Pontuação econômica	8	8	10	10	10	46	
Variante 3	Pontuação técnica	9	10	8	9	9	45	1,22
	Pontuação econômica	6	7	9	9	6	37	
Variante 4	Pontuação técnica	7	8	7	9	10	41	0,87
	Pontuação econômica	8	10	10	9	10	47	
Variante 5	Pontuação técnica	8	6	9	9	9	41	1,05
	Pontuação econômica	9	6	9	9	6	39	

Desta forma, o conceito idealizado foi um mecanismo para arrancar as plantas daninhas constituído por um par de cilindros, fixos por eixos ao chassi e em contato tangencial entre si. Considerando o sentido invertido de rotação dos cilindros, se supões que as plantas daninhas seriam presas aos cilindros e conseqüentemente arrancadas do solo. Para tal, foi necessário manter os cilindros próximos e ajustados o suficiente para não haver deslizamentos nem acúmulo de tensão conforme foram se fixando as plantas entre os dois cilindros. Isto foi possível com um mecanismo regulador da tensão entre os cilindros. Tal dispositivo se assemelhou a uma mola que pressionou um cilindro ao outro, de modo a se obter o ajuste necessário para o contato dos cilindros. O movimento dos rolos foi dado através de um motor elétrico ligado a uma bateria de 12 volts. O equipamento foi conduzido pelo homem, sem nenhum auxílio de outra forma de tração apoiado sobre um esquí. Existiu também um mecanismo de limpeza com o uso de uma escova girando acima dos rolos.

Protótipo virtual e montagem do protótipo físico

Uma vez definido o conceito do protótipo, iniciou-se o desenvolvimento do protótipo virtual, onde as demais informações técnicas foram definidas. Por fim, o modelo virtual é apresentado na Figura 2.

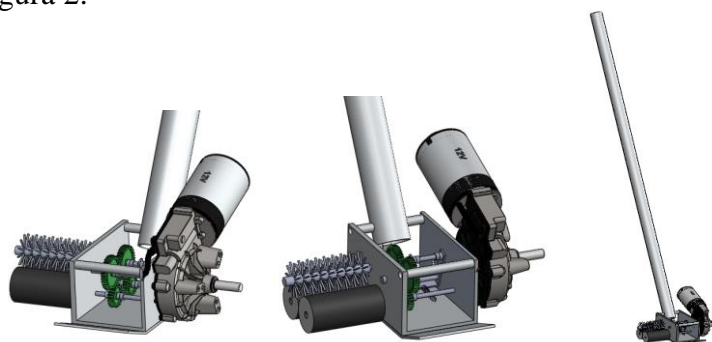


Figura 2. Vistas do protótipo virtual da capinadora de plantas daninhas

Após a fabricação de todas as peças e montagem dos componentes de forma individual, montou-se o protótipo físico. A Figura 3 mostra o resultado final da montagem do protótipo físico.



Figura 3. Vistas do protótipo físico da capinadora de plantas daninhas

Avaliação do protótipo físico

Foram encontradas dois tipos de espécies predominantes, os Trevos (*Oxalis acetosella*) de folhas largas e as Tiriricas (*Cyperus rotundus*) de folhas finas com altura média de 700 mm. A Tabela 4 mostra o número de plantas daninhas por espécie presentes em cada área. Constatou-se que os Trevos representaram 91,13% do total de plantas daninhas.

Tabela 4. Número de plantas daninhas do tipo Trevo (*Oxalis acetosella*) e do tipo Tiririca (*Cyperus rotundus*) por área

	<i>Oxalis acetosella</i>	<i>Cyperus rotundus</i>	Total de Plantas
Área 1	71	5	76
Área 2	50	8	58
Área 3	76	12	88
Área 4	76	6	82
Área 5	58	4	62
Área 6	69	4	73

A quantidade de plantas daninhas do tipo *Oxalis acetosella* removidos com raiz e sem raiz pelo protótipo em cada área é apresentada na Tabela 5. Nenhuma planta daninha do tipo *Cyperus rotundus* foi removida em nenhuma das áreas pelo protótipo, apenas algumas folhas foram arrebitadas, devido a força necessária para a remoção ser maior que a força necessária para cisalhar a folha.

Tabela 5. Número de plantas daninhas do tipo *Oxalis acetosella* removidas pela máquina com e sem raiz

	Removidas com Raiz	Removidas sem Raiz	Total de Plantas
Área 1	34	21	55
Área 3	26	12	38
Área 5	33	15	48

A capina manual conseguiu obter remoção de 100% de ambas as plantas daninhas devido à capacidade do ser humano de identificar e realizar manobra adequada, entretanto, o valor de plantas removidas com o sistema radicular completo foi de 88,21%. A Tabela 6 mostra o resultado da capina manual nas áreas 2, 4 e 6.

Tabela 6. Número de plantas daninhas (*Oxalis acetosella* e *Cyperus rotundus*) removidas pela capina manual com e sem raiz em cada área

	Removidas com Raiz	Removidas sem Raiz	Total de Plantas
Área 2	51	7	58
Área 4	73	9	82
Área 6	64	9	73

O tempo gasto para a capina pelo protótipo foi de 80 segundos na área 1; 92 segundos na área 2; 89 segundos na área 3. Já o tempo gasto para a capina manual foi de 204, 171, 166 segundos nas áreas 2, 4 e 6 respectivamente. Na Figura 4 é demonstrada a comparação do tempo gasto para remover as plantas, em cada área, pelo protótipo e pela capina manual.

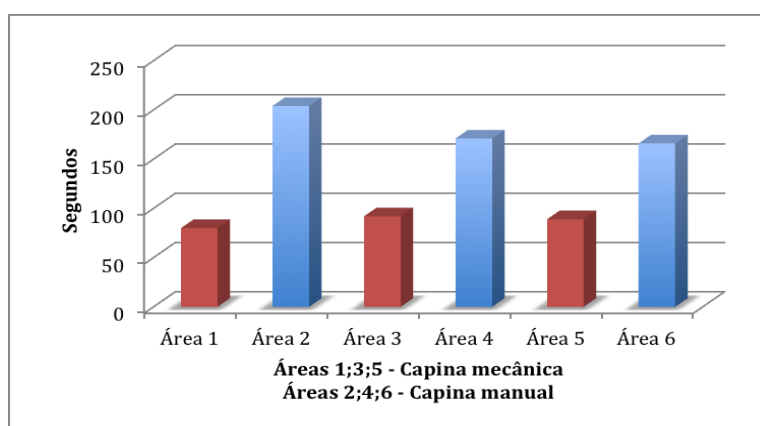


Figura 4. Tempo gasto em segundos para a capina em cada área realizada pelo protótipo e pela capina manual

O resultado de eficiência de remoção total média foi de 64,06% e a eficiência de remoção das plantas com sistema radicular média foi de 66,33% sendo considerados valores aceitáveis para um protótipo.

Tabela 7. Eficiência de remoção de plantas daninhas pelo protótipo (e_r) e eficiência de remoção de plantas daninhas com sistema radicular pelo protótipo

	e_r (%)	e_s (%)
Repetição 1	72,37	61,82
Repetição 2	61,29	68,42
Repetição 3	58,53	68,75
Média	64,06	66,33

Ao analisar a capacidade de campo efetiva (Tabela 8) foi observado que apesar de ser um protótipo, a capacidade de campo efetiva capinadora foi superior do homem em aproximadamente 2 vezes.

Tabela 8. Capacidade efetiva para a capina manual (CCe homem) e com o protótipo (Cce Máquina)

	CCe homem (m ² /min)	Cce Máquina (m ² /min)
Repetição 1	0,29	0,75
Repetição 2	0,35	0,65
Repetição 3	0,36	0,67
Média	0,34	0,69

CONCLUSÕES

Concluiu-se que o conceito de operação foi provado, mostrando que o protótipo pode se tornar uma máquina agrícola. Outro fator que contribui para isso é a inexistência de máquinas para desempenhar a mesma função. Para tal ainda é necessário a correção de falhas, para que sua eficiência e capacidade efetiva de campo sejam maximizadas, diminuição dos custos de construção e análise de mercado.

Concluiu-se também que a máquina possui uma capacidade de campo efetiva maior do que a do homem, ainda que nos primeiros testes, o que é considerado um resultado positivo. Todavia a eficiência de remoção total de plantas daninhas e eficiência de remoção de plantas daninhas com sistema radicular é menor do que a capina manual.

REFERÊNCIAS

BRANDÃO, A. A. et al. **Dinâmica populacional de plantas daninhas em cultivares de alface produzidas no verão em Seropédica-RJ.** Revista Agrogeoambiental, v. 8, n. 1, 2015.

DITOMASO, J.M. et al. **Weed control in natural areas in the western United States.** 2013.

IIDA, I. **Ergonomia.** Projeto e produção. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

MILAN, M. **Desempenho operacional e econômico de sistemas mecanizados agrícolas.** ESALQ- USP, 2006.

MONTEIRO, J. C. et al. **O processo de trabalho e o desencadeamento dos agravos à saúde dos trabalhadores rurais: um estudo ergonômico na agricultura familiar em Santa Catarina.** UFSC 2004.

PAHL & BEITZ, G. e W. **Projetos na Engenharia.** Editora Edgar Blücher. 2003

RICHETTI, A. **Cultura de Algodão no Cerrado.** Sistemas de Produção, EMBRAPA. 2003

SHAW, W.C. **Integrated weed management systems technology for pest management.** Weed science, 30(supl. 1): 2-12, 1982.