



Desenvolvimento de protótipos de microaspersores através de prototipagem rápida e torneamento mecânico

Alexsandro C. S. Almeida¹, Tarlei A. Botrel¹, Wanderley J. Souza¹, Marcelo F. Oliveira² & Antonio P. Camargo¹

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, construir protótipos de microaspersores, com boa uniformidade de distribuição para irrigações com sobreposição em hortas agrícolas, utilizando-se os processos de prototipagem rápida e torneamento mecânico. O estudo foi conduzido na ESALQ/USP e no Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI). Utilizou-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen na avaliação do desempenho dos emissores. O PVC e o tecnyl foram os materiais que apresentaram mais facilidade na construção dos protótipos no processo de torneamento mecânico, porém o PVC foi o escolhido devido ao melhor acabamento. Os protótipos construídos com torneamento mecânico apresentaram resultados satisfatórios ressaltando tratar-se de um processo bastante artesanal e laborioso; já com a prototipagem rápida se construíram protótipos com melhores acabamentos e mais rapidez. A utilização da prototipagem rápida no desenvolvimento de equipamentos de irrigação é algo totalmente inovador e de caráter pioneiro, além de uma ferramenta de grande utilidade na área de inovação de produtos no setor de Engenharia Agrícola.

Palavras-chave: irrigação localizada, hortas agrícolas, inovações tecnológicas

Development of microsprinkler prototypes through rapid prototyping and mechanical lathing

ABSTRACT

The present study had the objective of developing prototypes of microsprinkler with good distribution uniformity to irrigate with overlap in vegetable crops, by rapid prototyping and mechanic lathing. The work was carried out in the Hydraulic Laboratory of the Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, University of Sao Paulo, Brazil, and in the Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI). Two processes were tested in the development of the microsprinkler prototypes rapid prototype and mechanical lathing. Christiansen Uniformity Coefficient was used as indicator to evaluate the distribution uniformity. Among the tested materials, the PVC and the tecnyl showed more facility in the prototype development in the mechanical lathing process, however, the PVC was chosen due to better finishing. The prototypes built by mechanical lathing showed satisfactory results, but were hard work and handmade. On the other hand, with the rapid prototyping, prototypes were built with better finishing and were quicker. The utilization of rapid prototyping in the development of irrigation devices is something completely innovative and pioneering, besides being a tool of great utility in the product innovation in the Agricultural Engineering sector.

Key words: microsprinkler, vegetable crops, technology innovation

¹ ESALQ/USP, CP 9, CEP 13418-900, Piracicaba, SP, Fone: (19) 3447-8549, E-mail: acdsalme@esalq.usp.br; tabotrel@esalq.usp.br; wjsouza@esalq.usp.br; apcpirez@esalq.usp.br

² DDP/CTI, Rod. Dom Pedro I, Km 143.6, Campinas SP, CEP 13069-901, Fone (19): 3746-6287, E-mail: marcelo.oliveira@cti.gov.br

INTRODUÇÃO

Os novos projetos de irrigação têm adotado sistemas mais eficientes de aplicação de água, visando à economia de água e energia, dentre os quais se destacam os sistemas localizados. O sistema de microaspersão tem sido uma das alternativas para a irrigação de hortaliças folhosas em hortas agrícolas localizadas próximo aos centros urbanos (cinturões verdes); entretanto, no geral os perfis de distribuição de água dos microaspersores variam bastante de acordo com o modelo utilizado, o que pode ser atribuído aos processos de fabricação, à geometria do emissor e às diferenças de ângulos do jato de água dos microaspersores com relação à superfície (Boman, 1989). Também se constata que, na maioria dos perfis de distribuição, as taxas máximas de aplicação de água se situam na faixa intermediária do raio efetivo, caracterizando o perfil em forma de sino ou de exponencial cúbica (Sampaio et al., 1996; Dantas Neto et al., 1997; Boman & Parsons, 1999; Nascimento et al., 1999; Holanda Filho et al., 2001). Este é o tipo de perfil da maioria dos microaspersores disponíveis atualmente no mercado, que inviabiliza a recomendação do sistema de microaspersão para irrigações com sobreposição dos jatos, confirmando sua utilização apenas para irrigação de plantas isoladas (Boman, 2007); com isto, surge a necessidade do desenvolvimento de microaspersores com perfis pluviométricos que permitirão irrigar culturas que exijam sobreposição, caso das hortaliças folhosas.

No desenvolvimento de emissores de irrigação uma das fases mais significativas é a prototipagem (Bernuth & Solomon, 1986). A criação de um protótipo é um passo fundamental para o desenvolvimento de muitos produtos; trata-se da etapa em que todo o projeto é concretizado por meio de um modelo que permitirá testes mais objetivos e ajustes mais precisos (Mietti & Vendrameto, 2000). Esses ajustes como, por exemplo, a alteração da posição de ângulos e a inclusão de componentes, conferem maior funcionalidade ao produto. Os estágios iniciais do desenvolvimento do produto são os mais importantes, haja vista que, nesta fase, os gastos são pequenos em relação às fases posteriores e o custo de mudança em um desenho é bem menor que a alteração em uma ferramenta ou em molde metálico (Lino Neto et al., 2000); esta fase permite a detecção precoce de problemas reduzindo custos e melhorando sua qualidade. Na confecção dos protótipos existem diversos tipos de processos, desde a utilização de massas de modelar, usinagem e, mais recentemente, surgiu a prototipagem rápida (PR). A prototipagem através da modelagem é um dos processos mais antigos e mais usados, dependente de habilidades artesanais. Já a prototipagem por torneamento ou usinagem é mais voltada, basicamente, para a construção de peças de formato geométrico menos complexo, enquanto a PR é o processo mais moderno da atualidade, sendo praticamente ilimitado em termos de capacidade de geração de formas geométricas (Das et al., 2003; Oliveira et al., 2007; Hsu et al., 2008).

A utilização da Tecnologia da PR permite reduzir significativamente a fase de desenvolvimento de novos produtos (Kochan, 1997; Oliveira et al., 2007). Apesar desta tecnologia já estar bastante enraizada nos países mais industrializados,

muitas empresas continuam sem recorrer a ela, fundamental para uma competitividade maior do tecido industrial (Wohlers Report, 2002). Os protótipos, na maior parte dos casos, não são funcionais, o que significa que, normalmente, não podem ser testados nas condições reais de funcionamento. Em virtude desta limitação muitas empresas tendem a subestimar as potencialidades que essas tecnologias oferecem no encurtamento dos tempos de design e projeto de novos produtos. Utilizando-se as tecnologias de PR é possível obter protótipos funcionais, inclusive com os mesmos materiais utilizados nos processos de produção definitivos (Hsu et al., 2008). Além de um aumento ligeiro do tempo de execução esta tecnologia é altamente competitiva nos mais variados sectores industriais. As pesquisas têm ampliado o espectro de uso dessa tecnologia, cujas aplicações atendem desde produtos do setor de autopeças até a construção de próteses em medicina (Kochan, 1997; Oliveira et al., 2007). Na área da engenharia agrícola não se tem relato do uso desta ferramenta.

As empresas rurais precisam aumentar o poder de competição, através da adoção de tecnologias que aumentem a produtividade, de forma sustentável; contudo se verifica que grande parte da tecnologia disponibilizada no mercado nacional é importada, sobretudo na irrigação, limitando a competitividade da agricultura brasileira; para reverter esta situação, o País deve investir na produção de tecnologias inovadoras e de custo mais acessível em substituição à dependência por produtos importados. As empresas e instituições de pesquisa brasileiras reconhecem que a inovação é fundamental para alcançar ou sustentar uma vantagem competitiva em um mercado em transformação acelerada mas é bem restrito o número das que, efetivamente, trabalham pela inovação (Nicolosky, 2007). São raros os programas de pós-graduação sobre esta linha de pesquisa, deixando de lado uma linha de pesquisa que oferece maior independência tecnológica ao Brasil, principalmente no setor em que o País tem a maior competitividade: a agricultura.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi construir protótipos de microaspersores com a utilização da prototipagem rápida e torneamento mecânico adequados para irrigação com sobreposição dos jatos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Hidráulica da ESALQ/USP e no Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), onde foram desenvolvidos e avaliados os protótipos de microaspersores. A etapa de desenvolvimento visou estabelecer os melhores materiais, equipamentos e processos de construção a serem utilizados no desenvolvimento dos microaspersores. Determinaram-se, na etapa de avaliação, o perfil de distribuição da precipitação e a uniformidade de distribuição espacial de água.

Desenvolvimento do protótipo por torneamento mecânico

O processo de prototipagem utilizando o torneamento mecânico foi realizado na oficina do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ-USP. Para a construção dos protóti-

pos por este processo utilizaram-se, como materiais, o PVC, o teflon, o polipropileno e o technyl, variando-se o número de canaletas de 3 e 6.

Para a construção do protótipo serrou-se um tarugo de 10 cm de comprimento para ser usinado no torno. Em seguida a bailarina foi usinada no torno mecânico na rotação de 1500 rpm (rotação escolhida em função do diâmetro da peça e velocidade de corte para os plásticos). A faca de corte foi montada na posição de 0° para o desbaste das partes A e C e na posição de 35° para a parte B, que apresenta formato cônico. A usinagem seguiu as dimensões da peça, mostradas na Figura 1. A marcação dos comprimentos e a aferição das peças foram feitas com o auxílio de paquímetro digital. A abertura do furo da bailarina foi realizada com broca de 4 mm na furadeira, em rotação de 1500 rpm. A abertura das canaletas na profundidade de 1,5 mm foi realizada com a microrretífica com brocas protéticas de diversos formatos. A parte superior da bailarina foi desbastada com a microrretífica na rotação de 10000 rpm com brocas esmerilhantes.

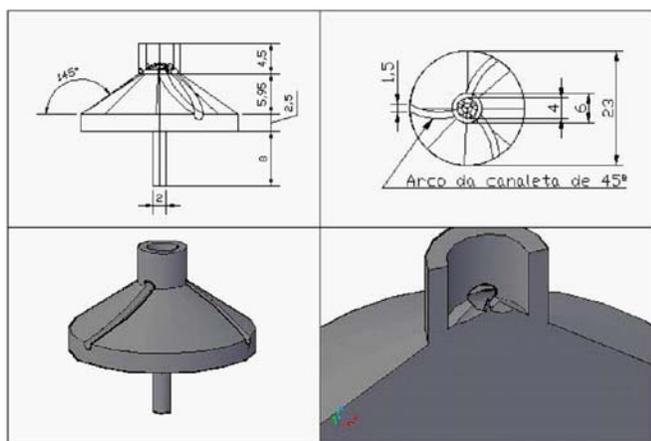


Figura 1. Dimensões da bailarina do microaspersor

Desenvolvimento do protótipo por prototipagem rápida

No processo de prototipagem rápida realizado no CTI, utilizou-se o método de fabricação por adição de camadas SLS (Selective Laser Sintering); referido método seguiu uma sequência composta de cinco etapas, em que a primeira compreendeu a modelagem 3D (tridimensional) da geometria em um software CAD (desenho assistido por computador). O desenho foi projetado no programa AutoCAD (Figura 1); a segunda etapa, conversão de dados e transmissão, foi iniciada ainda no ambiente CAD; nele, o modelo 3D CAD foi convertido para o formato de entrada do software que realizou a preparação para a fabricação na extensão STL (linguagem estereolitográfica). O software de preparação, responsável pela terceira etapa, emulou o ambiente de construção da máquina de prototipagem rápida. O modelo 3D STL foi então verificado, posicionado e orientado, sendo que estruturas de suporte foram adicionadas às camadas, na sequência o modelo STL e suportes foram fatiados em várias camadas bidimensionais no plano x-y; posteriormente, as informações foram transferidas para a máquina de prototipagem rápida e se iniciou a etapa

de fabricação em que uma a uma as camadas foram reproduzidas, até o objeto ser completamente construído (Folkstad & Johnson, 2001; Oliveira et al., 2007); o material utilizado foi um Nylon, cujo processo requereu uma última etapa de pós-processamento, esta etapa por sua vez englobou as operações de limpeza, remoção de suportes ou suavização da superfície em virtude do “efeito escada” ocasionado pela adição sucessiva de camadas.

Avaliação experimental

Os ensaios de avaliação foram realizados no Laboratório de Hidráulica da ESALQ-USP; para tanto se utilizaram: um cabeçal de controle composto de um reservatório de 10000 L, uma bomba KSB 125H, instalada para fornecer a pressão necessária ao funcionamento da linha de irrigação, um filtro de disco, registro de gaveta, regulador de pressão e manômetro digital.

Para obtenção da superfície de distribuição pluviométrica dos microaspersores, instalou-se uma malha de pluviômetros dispostos ao redor do microaspersor. Os pluviômetros utilizados foram recipientes plásticos medindo 8 cm de diâmetro e 10,5 cm de altura. Seguindo as normas da ABNT, os coletores formaram uma malha quadrada de 6 x 6 m, espaçados equidistantes, no espaçamento de 0,3 x 0,3 m, de modo a cobrir a área molhada pelo emissor; as linhas ortogonais em relação à localização do emissor também serviram para a coleta de dados visando à determinação do perfil de distribuição ao longo do raio; após 1 h de funcionamento com o emissor submetido a pressão de serviço de 250 kPa foram feitas as leituras dos volumes de água contida em cada coletor; em seguida os volumes coletados foram convertidos em altura de precipitação, efetuadas três repetições e após a determinação das precipitações médias obtidas se definiram os perfis pluviométricos dos microaspersores com seus respectivos raios efetivos.

Efetuu-se o cálculo da intensidade de precipitação média foi efetuado pela expressão:

$$P = \frac{V}{A \cdot t} \quad (1)$$

em que:

P - intensidade de precipitação, mm h⁻¹

V - volume coletado no coletor, mL

A - área do coletor, cm²

T - tempo de exposição, h

Obteve-se o perfil de distribuição pela média das intensidades de precipitação dos coletores localizados em pontos equidistantes ao longo dos eixos ortogonais com os dados obtidos na malha de coletores, simulou-se a uniformidade de água em diversos espaçamentos, através dos programas Space e Excel, para obtenção da melhor sobreposição. A uniformidade dos microaspersores foi avaliada por meio do coeficiente de uniformidade de Christiansen; para a simulação dos espaçamentos entre microaspersores, tomou-se como referência o arranjo quadrado, a simulação foi feita para espaçamentos de 2 x 2 m até 4 x 4 m, com incrementos de 0,5 m para cada simulação, fazendo-se a superposição para cada combina-

ção de espaçamento e se calculou a uniformidade com os totais superpostos em cada pluviômetro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Processos de construção

A construção dos protótipos no torno mecânico foi muito trabalhosa; neste modelo o pino foi construído na própria peça e, do outro lado, fez-se um rebaixamento, que se encaixa no adaptador do bocal do microaspersor; a construção desse pino no torno mecânico exige muito paciência, pois seu diâmetro é muito reduzido (2,4 mm) e o PVC é de baixa resistência a tração; com isto, ele fica frágil. Foram muitas as quebras do pino durante a construção e também na montagem do microaspersor. Utilizando-se os outros materiais (technyl, teflon e polipropileno) com maior resistência a tração, não se observaram quebras; por outro lado, a flexibilidade desses materiais fez o pino envergar durante o avanço da faca do torno. Devido à construção do rebaixamento para encaixar a bailarina no adaptador do bocal do microaspersor, a dificuldade de construção do divisor de água das canaletas aumentou o que implicou em mau acabamento desse divisor de águas.

Através da prototipagem rápida, o processo foi todo automatizado permitindo construir os protótipos com maior precisão e mais rapidez, embora apenas uma característica indesejada tenha sido observada nos protótipos construídos por este processo, que foi a aspereza da superfície, principalmente a do pino, que causa maior resistência à rotação ou giro do microaspersor requerendo, com isto, também maior vazão para se obter rotação adequada; esta característica é devida à sobreposição de camadas podendo ser minimizada com a aplicação de solventes ou através de polimento.

Os protótipos construídos pelos dois processos são apresentados na Figura 2. Verifica-se melhor acabamento do microaspersor PR, haja vista que as canaletas não apresentaram rebarbas, como as observadas nos protótipos TM, as quais foram devidas ao fato das canaletas dos protótipos TM

terem sido construídas com o auxílio de brocas ortodônticas acopladas à microrretífica, o que limitou o grau de acabamento uma vez que este depende da habilidade do operador com a microrretífica. Com a PR, por ser uma tecnologia baseada em laser, conseguiu-se alta precisão na confecção dessas canaletas com detalhamento em pequenas escalas o que, dificilmente, se consegue com os métodos manuais (King & Tansey, 2003) mostrando ser bastante flexível para processos precisos de fabricação, corte, gravação e metrologia, decorrente do fato de que o feixe de laser pode ser altamente controlado pois, quando aplicado para aglutinar pó por sinterização, este controle será determinante, juntamente com o tamanho do grão, na definição das propriedades mecânicas finais dos protótipos.

Perfil de distribuição

Os perfis de distribuição de água variaram bastante entre os protótipos de microaspersores (Figura 3). Vários autores (Boman, 1989; Matos et al., 1996; Holanda Filho et al., 2000; Boman et al., 2007), ensaiando diversos modelos de microaspersores, também encontram características similares, o que pode ser atribuído aos processos de fabricação, à geometria dos emissores e ao ângulo de inclinação do jato contra a superfície, porém os raios de alcance não apresentam grandes discrepâncias entre os diferentes protótipos desenvolvidos; considerou-se, como raio efetivo, aquele correspondente à distância do emissor ao último coletor que registrou, no mínimo, 10% da precipitação média.

No perfil referente ao protótipo com 3 canaletas TM (Figura 3), o raio de alcance do emissor foi de 3 m. A maior precipitação ocorreu próximo ao emissor, com valor de 12 mm h⁻¹. Para o protótipo 3 canaletas PR, o raio de alcance foi de 2,7 m e a maior precipitação foi de 16,6 mm h⁻¹, ocorrendo a 1,5 m. O protótipo de 6 canaletas registrou a maior precipitação (17,8 mm h⁻¹), a 1,2 m de distância, enquanto o raio de alcance foi de 2,7 m. Para o protótipo confeccionado com prototipagem rápida, a maior precipitação foi igual a 28 mm h⁻¹, registrada a uma distância de 0,9 m, enquanto o raio foi de 2,4 m. Os raios de alcance encontrados para os protótipos desenvolvidos variaram entre 2,1 m e 3 m e são similares aos

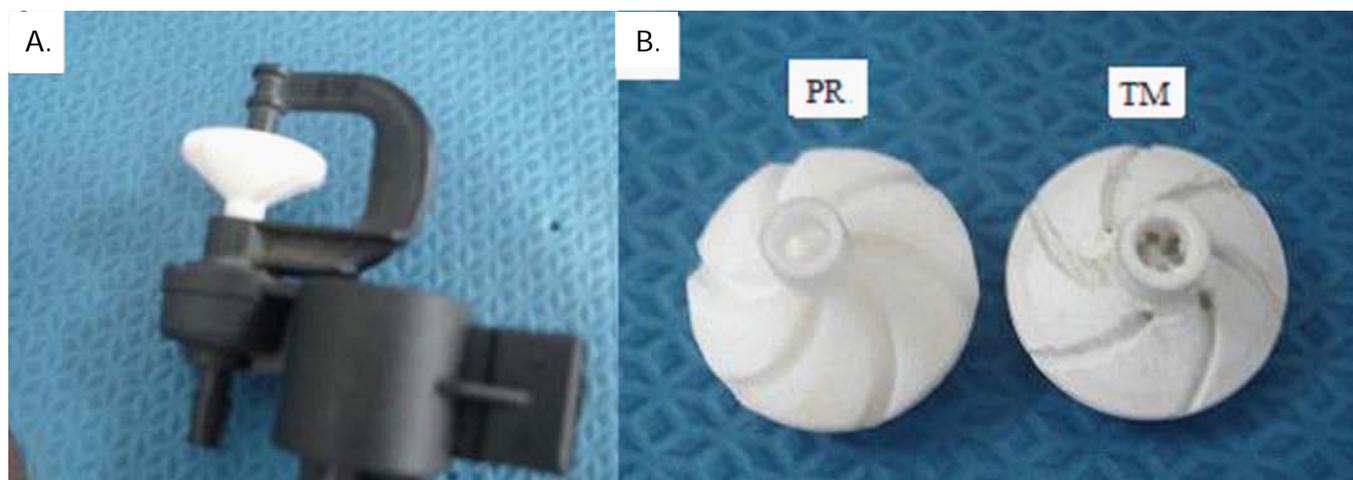


Figura 2. Microaspersor montado e bailarinas construídas por PR e TM

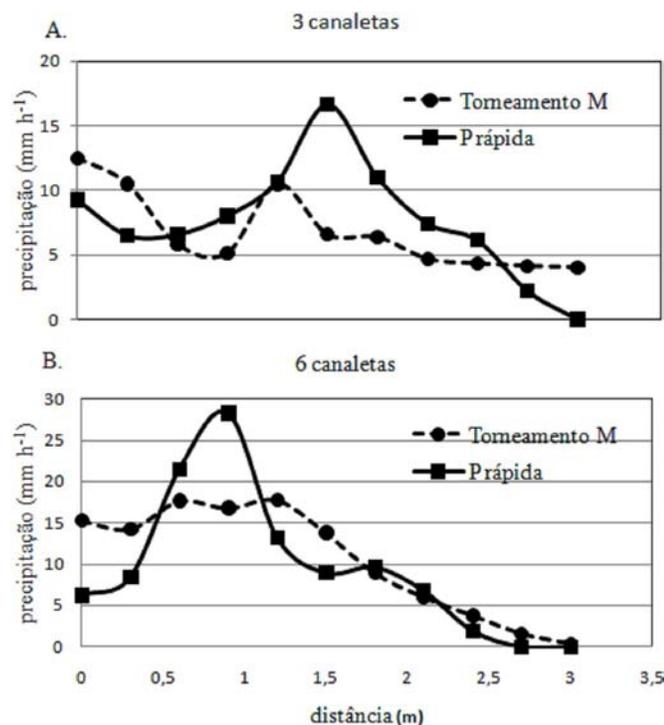


Figura 3. Perfil de distribuição de água dos protótipos de microaspersor com 3 (A) e 6 (B) canaletas construídos por prototipagem rápida e torneamento mecânico

encontrados por Boman (1989); Sampaio et al. (1996); Nascimento et al. (1999) e Holanda Filho et al. (2001), que relatam valores variando entre 2,2 m e 3,3 m.

O formato do perfil de distribuição do protótipo com 3 canaletas PR foi em forma de sino; já o protótipo de 6 canaletas fabricado pelo mesmo processo, tendeu ao formato mais triangular, sendo mais adequado para irrigações com sobreposição; para os modelos construídos por torneamento mecânico o de 3 canaletas apresentou formato tendendo ao triangular, porém ao longo do raio ocorreu outro pico de precipitação indesejado para irrigações com sobreposição; entretanto, o de 6 canaletas mostrou formato tendendo ao triangular. Verifica-se que, independente do processo de construção, nos protótipos com três canaletas os perfis tenderam ao formato de sino, assemelhando-se aos encontrados no mercado que, no geral, têm uma ou duas canaletas e apresentam formato de sino (Boman & Parsons, 1999). Os protótipos construídos por prototipagem rápida apresentaram perfis com menores irregularidades o que pode ser atribuído ao melhor acabamento alcançado por este processo.

Conforme os resultados apresentados na Figura 3, a taxa de aplicação ultrapassou 10 mm h⁻¹; esses valores de intensidade de precipitação são muito altos quando comparado aos encontrados por Sampaio et al. (1996), Nascimento et al. (1999) e Holanda Filho et al. (2001), que obtiveram valores máximos variando de 2 a 7 mm h⁻¹ para alguns emissores giratórios. Por outro lado, Boman (1989) e Sampaio et al. (1996) encontraram valores variando de 21 a 140 mm h⁻¹ em alguns microaspersores giratórios e difusores. Deve-se atentar para o fato de que taxas acima de 15 mm h⁻¹ são incompatíveis com a taxa de infiltração básica de alguns solos agrícolas, constatando-se a necessidade da continuidade ao desenvolvimento des-

ses protótipos, no intuito de diminuir a sua densidade, com consequente redução na vazão requerida pelo microaspersor e intensidade de aplicação.

Uniformidade de distribuição espacial dos protótipos de microaspersores

Para as superposições propostas tem-se que as melhores superposições ocorreram com os protótipos de 6 canaletas e o de 3 canaletas TM (Tabela 1), sendo possível a utilização desses protótipos de microaspersores em diversos espaçamentos, considerando-se que o critério usual de valores de CUC maiores ou iguais a 80%, é satisfatório (Christiansen, 1942). A área sombreada na Tabela 1 indica situação em que o microaspersor apresenta uniformidade dentro do recomendado pela literatura, adotando-se o limite mínimo de 80%; com isto, para o espaçamento de 3 x 3 m os três protótipos apresentaram CUC satisfatório (e" 80%), enquanto o com 3 canaletas PR indicou valor de CUC insatisfatório (d" 70%). O fato do protótipo de 3 canaletas apresentar baixo CUC se deve ao formato do perfil pluviométrico em forma de sino, que inviabiliza irrigação com sobreposição. Referidas observações são coerentes com as afirmações de Christiansen (1942) e Bilanski & Kidder (1958), em que a uniformidade de aplicação do aspersor é fortemente influenciada pela forma do perfil de distribuição.

Tabela 1. Coeficiente de Uniformidade de Christiansen dos protótipos de microaspersores para diversos espaçamentos de microaspersores em m (arranjo quadrangular)

Protótipo	Processo de construção	CUC				
		2	2,5	3	3,5	4
6 canaletas	TM	90	86	85	78	65
6 canaletas	PR	88	83	80	74	60
3 canaletas	TM	88	87	80	77	76
3 canaletas	PR	93	79	69	67	68

Os protótipos obtidos por ambos os processos de construção apresentaram resultados satisfatórios. O fato do protótipo de 3 canaletas PR ter apresentado baixos coeficientes de uniformidade em espaçamentos de 3 x 3 m, não está relacionado ao processo de fabricação mas, sim, à sua geometria, ou seja, ao número e ao ângulo das canaletas. Trabalhos posteriores deverão testar protótipos com mais canaletas e ângulos de canaletas diferenciados.

CONCLUSÕES

1. O torneamento mecânico e a prototipagem rápida permitem produzir protótipos satisfatórios de microaspersores.
2. O processo de prototipagem rápida é mais rápido e detalhista.
3. O ganho de tempo com a prototipagem rápida pode ser empregado tanto para otimização do produto como para a redução do tempo de lançamento de um novo modelo.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao CTI, pelo apoio no desenvolvimento dos protótipos.

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro a esta pesquisa, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI).

LITERATURA CITADA

- Bernuth, R. D. V.; Solomon, K. H. Design principles: Emitter construction. In: Nakayama, F. S.; Bucks, D. A. Trickle irrigation for crop production: Design, operation, and management. Amsterdam: Elsevier, 1986. chap.1, p.27-45.
- Bilanski, W. K.; Kidder, E. H. Factors that affect the distribution of water from a medium-pressure rotary irrigation sprinkler. Transactions of ASAE, v.1, n.1, p.19-29, 1958.
- Boman, B. J. Distribution patterns of microirrigation spinner and spray emitters. Applied Engineering in Agriculture, v.5, n.1, p.50-56, 1989.
- Boman, B. J. Microsprinkler irrigation. In: Lamm, F. R.; Ayars, J. E.; Nakayama, F. S. Microirrigation for crop production: Design, operation, and management. Amsterdam: Elsevier, 2007. chap. 15, p.515-606.
- Boman, J. B.; Parsons, L. R. Microsprinkler experiences in Florida citrus. Applied Engineering in Agriculture, v.15, n.5, p.465-475, 1999.
- Christiansen, J. E. Irrigation by sprinkle. Berkeley: University of California. 1942. California Agricultural Experimental Station. Buletin, 670.
- Dantas Neto, J.; Medeiros, M. G. A. de; Azevedo, C. A. V. de.; Azevedo, H. M. de. Performance hidráulica e perfil de distribuição do microaspersor NAAN 7110 sob condições de vento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.1, n.1, p.57-61, 1997.
- Das, S.; Hollister, S. J.; Flanagan, C.; Adewunmi, A.; Bark, K.; Chen, C.; Ramaswamy, K.; Rose, D.; Widjaja, E. Freeform fabrication of nylon-6 tissue engineering scaffolds". Rapid Prototyping Journal, v.9, p.43-49, 2003.
- Folkestad, J. E.; Johnson, R. L. Resolving the conflict between design and manufacturing: integrated rapid prototyping and rapid tooling (IRPRT). Journal of Industrial Technology, v.17, n.4, 2001. <http://atmae.org/jit/Articles/folkestad072601.pdf>. 15, set. 2008.
- Gorni, A. A. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. <http://www.gorni.eng.br/protrap.html>. 15 Set. 2008.
- Holanda Filho, R. S. F.; Porto Filho, F. Q.; Miranda, N. O.; Medeiros, J. F. de. Caracterização hidráulica do microaspersor, da Plastro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p.465-473, 2001.
- Hsu, C. Y.; Huang, C. K.; Tzou, G. J. Using metallic resin and aluminum alloy molds to manufacture propellers with RP/RT technique. Rapid Prototype Journal, v.14, n.2, p.102-107, 2008.
- King, D.; Tansey, T. Rapid tooling selective laser sintering injection tooling, Journal of Materials Processing Technology, v.132, p.42-48, 2003.
- Kochan, A. Rapid prototyping trends. Rapid Prototyping Journal, v.3, n.4, p.150-152, 1997.
- Lino Neto, F. J.; Vasconcelos, M. T.; Vasconcelos, P. V.; Pereira, A. V.; Silva, C. E. Diluição de fronteiras entre o design e a indústria através da prototipagem rápida – Um caso de estudo, Cadernos Empresariais, v.1, n.7, p.58-63, 2000.
- Matos, J. de A.; Dantas Neto, J.; Azevedo, H. M. de; Azevedo, C. V. A. de. Características hidráulicas do microaspersor Dan Sprinkler 2001. Irriga, v.1, n.3, p.30-44, 1996.
- Mietti, M. A.; Vendrameto, O. Uso da prototipagem rápida como fator de competitividade. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 20, 2000, São Paulo. Resumos...São Paulo: APEBRO, 2000. Cd-Rom
- Nascimento, T.; Soares, J. M.; Azevedo, C. A. V. de. Caracterização hidráulica do microaspersor Rain-Bird QN-14. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, p.30-33, 1999.
- Nicolosky, R. Os desafios para transformar conhecimento em valor econômico. <http://www.ciencia.com.br/>. 10 Dez, 2007.
- Oliveira, M. F.; Maia, I. A.; Noritomi, P. Y.; Nargi, G. C.; Silva, G. V. L.; Ferreira, B. M. P.; Duek, E. A. R. Construção de Scaffolds para engenharia tecidual utilizando prototipagem rápida. Revista Matéria, v.12, n.2, 2007.
- Sampaio, S. C.; Vilela, L. A. A.; Dias, J. A. A.; Farias, M. A. de. Características hidráulicas e da distribuição do microaspersor NAAN 7110. Ciência e Agrotecnologia, v.20, n.1, p.70-78, 1996.
- Wohlert Report. Rapid prototyping & tooling state of the industry annual worldwide progress report, Wohlert association, Colorado, 2002, 250p.