

Desempenho de um hidrociclone de geometria “Rietema” como pré-filtro para sistemas de irrigação¹

Performance of a hydrocyclone of "Rietema" geometry as pre-filter for irrigation systems

Othon Carlos da CRUZ², José Renato ZANINI³, Antonio Carlos BARRETO⁴, Antonio Sérgio FERRAUDO⁵

¹Parte da tese de doutorado do primeiro autor;

²Autor para correspondência; Doutor; Instituto Federal do Triângulo Mineiro - Campus Uberaba; Departamento de Ensino e Pesquisa, Laboratório de Hidráulica; Avenida João Batista Ribeiro, 4000, Unidade I; e-mail: othon@iftriangulo.edu.br;

³Doutor; Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Jaboticabal; e-mail: jrzanini@fcav.unesp.br;

⁴Doutor; Instituto Federal do Triângulo Mineiro - Campus Uberaba; e-mail: barreto@iftriangulo.edu.br;

⁵Doutor; Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Jaboticabal; e-mail: ferraudofcav.unesp.br

Resumo

Os hidrociclones são equipamentos amplamente utilizados pela indústria em processos envolvendo separação sólido-líquido, porém, ainda, pouco divulgados na agricultura irrigada brasileira. Neste trabalho, avaliou-se o desempenho de um hidrociclone de geometria “Rietema” como pré-filtro de suspensões aquosas com areia e solo. Esse equipamento possui diâmetro de 19,20 cm na parte cilíndrica e opera com vazões variando entre 10 e 27 m³ h⁻¹. Os materiais particulados usados em suspensão foram: solo franco argiloso e areia de rio. O melhor desempenho do hidrociclone ocorreu com suspensão aquosa de areia, apresentando eficiência total de 92,31% para a vazão de 26,97 m³ h⁻¹. Dentre as conclusões, pode-se inferir que o hidrociclone avaliado é eficiente para remoção de partículas sólidas, notadamente para água contendo suspensões de areia, podendo ser utilizado como pré-filtro em sistemas de irrigação.

Palavras-chave adicionais: pré-filtragem, separação sólido-líquido, irrigação localizada

Abstract

The hydrocyclones are equipments widely used by the Industry in cases involving solid-liquid separation, but still little reported in Brazilian irrigated agriculture. The proposal of this research was to evaluate the performance of a hydrocyclone as a pre-filter of aqueous suspensions with sand and soil. This equipment has a diameter of 19.20 cm at the cylindrical part and operates with flow rates ranging between 10 and 27 m³ h⁻¹. The materials used in particulate suspension were: clay loam soil and sand from river. The best performance of the hydrocyclone occurred when operating with slurry of sand with a total efficiency of 92.31% for a flow rate of 26.97 m³ h⁻¹. The hydrocyclone was found to be effective for the removal of solid particles, specially of sand suspended in water and is thus indicated to be used as a pre-filter in agricultural irrigation systems.

Additional keywords: pre-filtering, solid-liquid separation, localized irrigation

Introdução

O uso intensivo do solo, para atividades agrícolas sem o devido cuidado com a conservação ambiental, culmina com a degradação das microbacias. Esses impactos são caracterizados, principalmente, pelo efeito erosivo do solo, causando assoreamento e deterioração da qualidade da água dos mananciais, reduzindo os potenciais quantitativo e qualitativo de uso para a irrigação (AYERS & WESTCOT, 1991). Um dos principais problemas de qualidade da água para a irrigação é a obstrução física de tubulações e emissores, por sólidos suspensos, sobretudo em

sistemas de irrigação localizada. Nas situações em que a água apresenta alta quantidade de sólidos, pode ser necessária a instalação de estruturas e/ou equipamentos, como bacias de sedimentação ou pré-filtros instalados na tomada de água ou no cabeçal de controle, antes do sistema de filtragem. Dentre esses, são citados os hidrociclones, que podem desempenhar esse papel e não apresentam partes móveis, requerendo baixo custo de instalação, pouca manutenção e são simples de operar (VIEIRA, 2006). Os hidrociclones consistem em uma seção cônica ligada a uma parte cilíndrica a qual possui um duto de alimentação ajustado para a entrada

do fluxo de forma tangencial. A parte cilíndrica é fechada e dotada de um duto de saída da corrente superior, denominado “overflow”. No final da seção cônica, tem-se uma abertura para a descarga da corrente inferior denominada de “underflow” (SVAROVSKY, 2000). BARROZO et al. (1992) relatam que o princípio de separação dos hidrociclones é o mesmo das centrífugas, proporcionado pela sedimentação centrífuga, no qual as partículas em suspensão são submetidas a um campo centrífugo que provoca sua separação do fluido. Com a alimentação tangencial de uma suspensão sólido-líquida na região cilíndrica do equipamento, provoca a formação de um vórtex descendente, o que faz com que as partículas de maior densidade sejam projetadas contra a parede e arrastadas até a saída inferior do mesmo (“duto do underflow”). Já as partículas menores são arrastadas para o centro do equipamento, formando um vórtex ascendente, saindo por um orifício superior (“duto do overflow”). Os hidrociclones são agrupados em famílias, possuindo como característica comum a proporção constante entre suas medidas geométricas associadas com o diâmetro da parte cilíndrica. Esta proporcionalidade existente entre as dimensões geométricas é extremamente importante no processo de separação, pois está diretamente relacionada à capacidade e ao poder de classificação desses equipamentos. As famílias de hidrociclones mais conhecidas e de maior interesse são as de geometria “Rietema”, “Bradley” e “Krebs” (VIEIRA, 2006). O mesmo autor comenta ainda que, independentemente do modo como o hidrociclone esteja separando partículas, quer seja pelo arraste que o líquido proporciona (Efeito T), quer seja pela ação efetiva do campo centrífugo, a eficiência total (ET) considera todos os sólidos coletados no “duto do underflow”, indistintamente daquilo que os levou a serem classificados. Já a eficiência total reduzida (ET') considera apenas aqueles sólidos coletados no “duto do underflow” pelo efeito do campo centrífugo. SOCCOL et al. (2005), avaliando o desempenho de um hidrociclone de geometria “Rietema” como pré-filtro de suspensão aquosa com areia, obtiveram eficiências totais variando de 70 a 97%. Já VIEIRA et al. (2001) encontraram eficiências totais de 55 a 78% testando um hidrociclone de geometria “Rietema” operando suspensões aquosas com um minério denominado pirocloro, com diâmetro de partículas entre 10 e 50 micrômetros. Vários trabalhos de pesquisas vêm sendo desenvolvidos no campo da mineração e da engenharia química e de alimentos, os quais estudam o desempenho dos pré-filtros, denominados de hidrociclone. Entretanto, poucos trabalhos têm sido desenvolvidos para avaliação desse equipamento como dispositivo de filtragem de partículas em suspen-

são na água de irrigação. Segundo SOCCOL (2003), na agricultura brasileira, há pouco conhecimento dos técnicos de irrigação sobre o potencial do hidrociclone como separador de sólido-líquido e também são raras as informações científicas sobre desempenho desse equipamento. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de um hidrociclone de geometria “Rietema” como pré-filtro de partículas sólidas em suspensão na água de irrigação para diferentes condições operacionais, utilizando-se como parâmetro de desempenho a “Eficiência Total”.

Material e métodos

O hidrociclone avaliado foi construído pela Empresa GALLO Irrigação e Equipamentos Agrícolas, localizada em Vista Alegre do Alto - SP. O equipamento foi fabricado em aço galvanizado, com 19,20 cm de diâmetro na parte cilíndrica, correlacionando-o às proporções geométricas previstas para os hidrociclones da “família Rietema” (Figura 1).

O experimento foi conduzido no laboratório de hidráulica do IF do Triângulo, Câmpus Uberaba-MG, montando-se uma bancada de ensaio (Figura 2), contendo: reservatório com capacidade de 5.000 litros; conjunto motobomba (11 kW); chave de partida; manômetro tipo Bourdon; registro de gaveta DN (diâmetro nominal) de 2”; tubos de PVC DN de 2”; manômetro diferencial com coluna de mercúrio em “U”; medidores de vazão tipo placa de orifício, previamente calibrados; agitador submersível com motorreductor elétrico (1,1 kW).

A bancada de ensaios foi colocada em operação com o acionamento do conjunto motobomba, concomitantemente ao agitador submerso, mantendo a suspensão homogeneizada. Através do registro de gaveta no recalque da bomba, foi fixada a vazão desejada no hidrociclone, pelo conhecimento prévio das curvas ajustadas (pressão x vazão) nas placas de orifício instaladas nos dutos do “overflow” e “underflow”. A vazão de alimentação consistiu na soma das vazões dos dutos do “overflow” e “underflow”.

Os ensaios foram conduzidos para vazões variando de 10 a 27 m³ h⁻¹. As razões de líquido (relação entre a vazão na corrente do “underflow” e a vazão na corrente de alimentação) foram ajustadas concomitantemente, adequando a abertura do registro na corrente de alimentação e a corrente do “underflow” para o valor aproximado de 8 e 4%. Durante o tempo de coleta dos dados de vazão e de diferencial de pressão (Dp), tomavam-se amostras da suspensão nos três pontos de coleta (alimentação, “overflow” e “underflow”), sendo feitas três repe-

tições. Estando o sistema operando em circuito fechado, as descargas dos dutos do “underflow” e do “overflow” retornavam ao reservatório. A concentração mássica das amostras foi determinada utilizando-se do processo

gravimétrico. Conhecendo-se a massa de sólidos e a massa da suspensão nas amostras, determinou-se a concentração de sólidos nas correntes de alimentação e “underflow”.

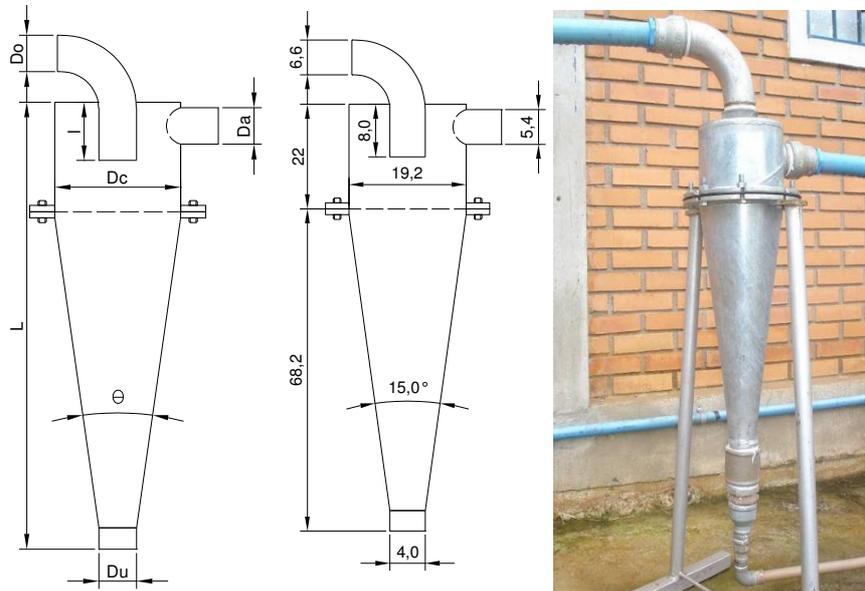
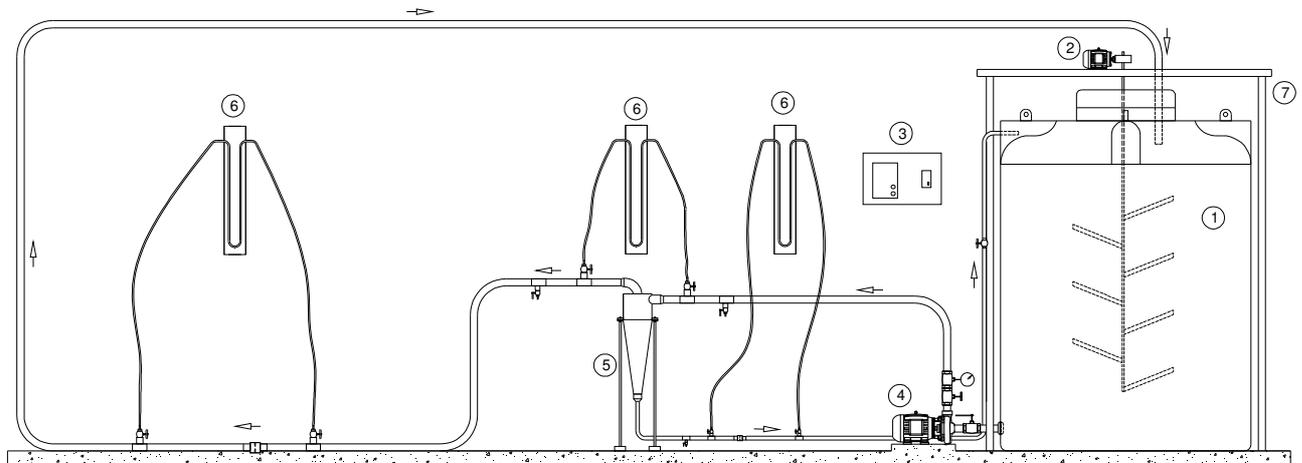


Figura 1 - Hidrociclone de geometria “Rietema” com dimensões em centímetros. *Hydrocyclone of “Rietema” geometry, with dimensions in centimeters.*



LEGENDA		
①	RESERVATÓRIO	TOMADA DE PRESSÃO
②	AGITADOR	PONTO DE COLETA
③	PAINEL DE COMANDO	MANÔMETRO
④	MOTOBOMBA	REGISTRO DE GAVETA
⑤	HIDROCICLONE	SENTIDO DE FLUXO
⑥	COLUNA DE MERCÚRIO	REGISTRO DE ESFERA
⑦	SUPORTE DE MADEIRA	PLACA DE ORIFÍCIO

Figura 2 - Esquema da bancada de ensaios com o hidrociclone de geometria “Rietema” *Schematic view of a test bench with the hydrocyclone of “Rietema” geometry.*

A densidade das suspensões foi determinada por meio de um balão volumétrico. A vazão mássica consistiu no produto da vazão volumétrica pela densidade da suspensão. A massa de material particulado (areia ou solo) colocado no reservatório foi de 30 kg, caracteri-

zando concentração de 6 g L⁻¹. O solo de classe textural francoargilo-arenosa (60% de areia, 14% de silte e 26% de argila) foi coletado no Câmpus Uberaba do IF do Triângulo e a areia (98% de areia e 2% de argila) proveniente do assoreamento no Rio Lanoso - Uberaba. As análises

texturais e massas específicas do solo (2.700 kg m⁻³) e da areia (2.670 kg m⁻³) foram determinadas no laboratório de solos da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Na avaliação do equipamento operando com razão de líquido (RL) a 4%, utilizou-se como material particulado da areia mencionada anteriormente. As variáveis avaliadas e associadas ao desempenho dos hidrociclones foram: a eficiência total (ET), a razão de líquido (RL) e a eficiência total reduzida (ET'). A eficiência total é a razão entre a massa total de sólidos coletados no "duto do underflow" e a massa total de sólidos coletados no "duto da alimentação" (SVAROVSKY, 2000), calculada pela equação:

$$ET = \frac{W_{su}}{W_{sa}} \rightarrow ET = \frac{C_{wu} W_u}{C_{wa} W_a} \quad (1)$$

Em que, ET é a eficiência total (adimensional); W_{su} é a vazão mássica de sólidos recuperados no "underflow" (kg s⁻¹); W_{sa} é a vazão mássica de sólidos na alimentação (kg s⁻¹); C_{wu} é a concentração mássica no "underflow" (adimensional); C_{wa} é a concentração mássica na alimentação (adimensional); W_u é a vazão de massa no "underflow" (kg s⁻¹), e W_a é a vazão de massa na alimentação (kg s⁻¹).

No hidrociclone, parte da massa sólida não é separada devido à ação centrífuga, pois o equipamento também age como um divisor do escoamento, tal como uma conexão "T" em tubulações (SILVA, 1989). A esse fenômeno dá-se a denominação de "efeito T", correlacionando-o diretamente à razão de líquido que é calculada pela Equação. 2.

$$RL = \frac{Q_u(1 - C_{vu})}{Q_a(1 - C_{va})} \quad (2)$$

Em que, RL é a razão de líquido (adimensional), Q_u é a vazão volumétrica no "underflow" (L s⁻¹); Q_a é a vazão volumétrica na alimentação (L s⁻¹); C_{vu} é a concentração volumétrica no "underflow" (L L⁻¹), e C_{va} é a concentração volumétrica na alimentação (L L⁻¹).

A eficiência total reduzida demonstra o real desempenho do hidrociclone, pois considera o "fluxo morto", devido ao "efeito T", o qual deve ser subtraído da eficiência total (ET). Para quantificação deste parâmetro utiliza-se a Eq. 3.

$$ET' = \frac{ET - RL}{1 - RL} \quad (3)$$

Em que, ET' é a eficiência total reduzida (adimensional). Com o auxílio de uma planilha eletrônica e utilizando-se das Eqs. 1, 2 e 3 propostas por SVAROVSKY (2000), quantificou-se o desempenho do hidrociclone para as vazões testadas.

Resultados e discussão

Na Tabela 1, verifica-se que a eficiência total de separação do hidrociclone foi de 30,06 a 92,31%, para as vazões entre 12,43 e 26,97 m³ h⁻¹, respectivamente, para o equipamento operando com suspensão aquosa de areia. Para a suspensão aquosa com solo, verificou-se decréscimo na eficiência total que variou de 54,29 a 19,59%, respectivamente, para as vazões 26,21 a 10,07 m³ h⁻¹.

Tabela 1 - Valores médios obtidos para o hidrociclone operando com suspensões de areia e solo. *Mean values shown by the hydrocyclone when operating with suspensions of sand and soil.*

¹ Q _a (m ³ h ⁻¹)	² Q _u (m ³ h ⁻¹)	³ RL (%)	⁴ W _{sa} (kg h ⁻¹)	⁵ W _{su} (kg h ⁻¹)	⁶ ET (%)	⁷ ET' (%)
Suspensão com areia						
26,97	2,28	8,45	10,31	9,52	92,31	91,60
22,78	1,90	8,34	5,43	4,05	74,60	72,29
20,54	1,70	8,29	4,51	2,56	56,75	52,84
18,21	1,46	8,01	3,72	1,68	45,14	40,36
15,88	1,28	8,04	3,35	1,23	36,78	31,25
12,43	0,98	7,89	2,43	0,73	30,06	24,07
Suspensão com solo						
26,21	2,27	8,66	24,64	13,38	54,29	49,96
23,08	2,00	8,66	15,40	6,95	45,12	39,91
19,56	1,67	8,52	12,75	4,23	33,18	26,96
16,67	1,40	8,40	10,26	2,44	23,78	16,80
13,01	1,12	8,63	7,12	1,60	22,48	15,16
10,07	0,88	8,74	4,34	0,85	19,59	11,86

¹ Vazão na corrente de alimentação; ² Vazão na corrente do "underflow"; ³ Razão de líquido; ⁴ Vazão mássica de sólidos na alimentação; ⁵ Vazão mássica de sólidos no "underflow"; ⁶ Eficiência total; ⁷ Eficiência total reduzida. *Flow rate at the feeding stream; Flow rate at the underflow stream; Liquid ratio (%); Solids massic flow rate; Solids massic flow rate in the underflow; Total efficiency; Reduced total efficiency. The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.*

Essa diminuição da eficiência total ocorreu devido às diferenças texturais do material particulado usado. Já o decréscimo da eficiência com a diminuição da vazão é explicado pelo menor efeito centrífugo em função da menor velocidade terminal das partículas sólidas no interior do equipamento; isto é, com a diminuição da vazão, conseqüentemente, da velocidade de fluxo, ocorre menor taxa de descarregamento de sólidos no “underflow”, concordando com BARBOSA et al. (2001) e VIEIRA (2006). A baixa eficiência do equipamento em separar partículas sólidas de pequenos diâmetros, como o solo usado da classe textural franco-argilo-arenosa, também foi observada por MAILAPALLI et al. (2007).

Vale ressaltar que o equipamento recuperou na corrente do “underflow” 9,52 e 13,38 kg

h^{-1} dos 10,31 e 24,64 $kg\ h^{-1}$ (Tabela 1) de massa sólida alimentada no hidrociclone para as suspensões com areia e solo, respectivamente. Isso significa, hipoteticamente, o que seria lançado em um sistema de irrigação sem o uso do hidrociclone, demandando maior controle e manejo, bem como sistemas de filtragens com maiores tecnologias.

Na Figura 3, verifica-se aumento da eficiência total (ET) do hidrociclone operando com suspensões aquosas de areia a razões de líquido (RL) 8 e 4% com o acréscimo da vazão de alimentação. Com a diminuição da RL, diminui-se a vazão mássica de sólidos no “underflow”, e a eficiência total manteve-se inferior para o hidrociclone operando com RL 4%.

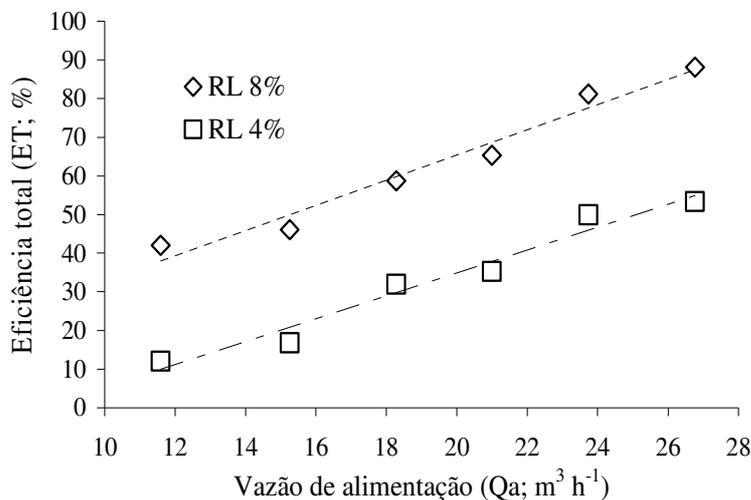


FIGURA 3 - Eficiência total (ET) do hidrociclone em função da vazão e da razão de líquido (RL), operando com suspensão de areia. Total efficiency (ET) of the hydrocyclone as a function of flow rate and the ratio of liquid (RL), operating with suspended sand. *Total efficiency (ET) of the hydrocyclone as a function of flow rate and the ratio of liquid (RL), when operating with suspended sand.*

A eficiência total apresentou tendência do comportamento para o modelo linear, conforme equações ajustadas (Tabela 2); isto é, com o aumento da vazão, conseqüentemente, aumento da queda de pressão, maiores concentrações de sólidos são descarregadas no duto do “underflow”, implicando maiores eficiências de separação sólido-líquido.

Considerando-se todas as vazões de alimentação, a eficiência total reduziu, em média, 30% quando a razão de líquido (RL) diminuiu de 8 para 4%.

Tabela 2 - Equações de eficiência total em função da vazão de alimentação para o hidrociclone operando com razão de líquido de 8 e 4%. *Equations of total efficiency as a function of the feeding flow rate for the hydrocyclone operating with liquid ratios of 8 and 4%.*

Razão de líquido	Equação	R ²
8%	¹ ET = 3,263 ² Qa + 0,159	0,966
4%	¹ ET = 2,963 ² Qa + 24,331	0,964

¹ Eficiência total (%). ² Vazão na corrente de alimentação ($m^3\ h^{-1}$). ¹ Total efficiency (%). ² Flow rate at the feeding stream ($m^3\ h^{-1}$).

Conclusões

O hidrociclone de geometria “Rietema” demonstrou melhor desempenho com o aumento

da vazão de alimentação, apresentando eficiência total variando de 30,06 a 92,31% para as vazões entre 12,43 e 26,97 $m^3\ h^{-1}$, com suspensões de areia e 19,59 a 54,29% para as vazões

entre 10,07 e 26,21 m³ h⁻¹, com suspensões de solo.

Com a redução da razão de líquido de 8 para 4%, a eficiência do equipamento apresentou decréscimo médio de 30%.

Referências

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. de R. R. Gheyi; J. F. Medeiros, J.F.de; F.A.V., Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.

BARBOSA, E. A.; KOBOLDT, C. A. A.; DAMASCENO, J. J. R.; BARROZO, M. A. S. **Estudo do comportamento de um hidrociclone filtrante de geometria Krebs**. Uberlândia: UFU/PIBIC/CNPq, 2001. 42p. (Relatório Técnico, 01).

BARROZO, M. A. S.; DAMASCENO, J. J. R.; LANNA, A. E. Estudo do desempenho de um hidrociclone filtrante. **Revista Ciência & Engenharia**, Uberlândia, v.1, p.175-86, 1992.

MAILAPALLI, D. R.; MARQUES, P. A. A.; THOMAS, K. J. Performance evaluation of hydrocyclone filter for microirrigation. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p. 373-82, 2007.

SILVA, M. A. P. da. **Hidrociclones de Bradley: dimensionamento e análise de desempenho**. 1989. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1989.

O hidrociclone é eficiente na remoção de partículas sólidas, notadamente para água contendo suspensões de areia, sendo indicado como pré-filtro em sistemas de irrigação.

SOCCOL, O. J. **Construção e avaliação de hidrociclone para pré-filtragem da água de irrigação**. 2003. 109f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade São Paulo, Piracicaba, 2003.

SOCCOL, O. J.; BOTREL, T. A.; GERVÁSIO, E. S.; ULLMANN, M. N. Avaliação de um hidrociclone de "Rietema" para remoção de areia da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p. 464-8, 2005.

SVAROVSKY, L. **Solid-liquid separation**. 2nd. ed. London: Butterworths, 2000. 568p.

VIEIRA, L. G. M. **Otimização dos processos de separação em hidrociclones filtrantes**. 2006. 298f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

VIEIRA, L. G. M.; BARBOSA, E. A.; FUTIWAKI, L.; DAMASCENO, J. J. R.; BARROZO, M. A. S. Estudo de um hidrociclone filtrante segundo a geometria de "Rietema". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 28., 2000, Teresópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001. p.279-85.