

ANÁLISE DA DEPOSIÇÃO DE PARTÍCULAS DE ARGILA EM UM SISTEMA MILIFLUIDICO DE ESCOAMENTO

F. C. de Oliveira¹, M. Talamini Junior², N. Ait-Mouheb³, B. Molle⁴, S. Tomas⁵, J. A. Frizzone⁶

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo analisar o processo de deposição de partículas de argila que ocorre no interior dos labirintos dos gotejadores. Foram realizados ensaios hidráulicos utilizando um dispositivo milifluidico, sendo utilizados dois tipos de argila (caulinita e montmorilonita). A força iônica da solução foi alterada por meio da adição de sais. Os ensaios foram conduzidos no Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA), localizado na cidade de Montpellier - França. Pode-se concluir que as partículas de argila se depositam nas mesmas regiões que partículas maiores, como areia e silte. As regiões de maiores deposições são aquelas que apresentam menores valores de velocidade de escoamento associado com valores baixos de energia cinética turbulenta e intensidade de turbulência, sendo principalmente nas regiões de vórtices e estagnação. Além disso, por não ocorrer acúmulo de partículas na região do fluxo principal, sugere-se que partículas de argila, como agente isolado, não apresentam potencial para causar obstrução completa dos gotejadores.

PALAVRA-CHAVE: obstrução, microirrigação, partículas pequenas, incremento de vazão

ANALYSIS OF CLAY PARTICLES DEPOSITION IN A MILIFLUIDIC FLOW SYSTEM

ABSTRACT: This work had as objective to analyze the clay particles deposition process which occurs inside the emitter's labyrinths. Tests were performed using a milifluidic flow device and two types of clay (kaolinite and montmorillonite). In order to change the ionic strength, salts were added to the solution. Those tests were performed at the Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA), located in

¹ Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, CEP 13418 900, Piracicaba, SP. Fone: (19)982678106. E-mail: fabricio_agro@yahoo.com.br

² Mestrando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

³ Pesquisador(a), Doutor(a), IRSTEA, Montpellier, França.

⁴ Pesquisador(a), Doutor(a), IRSTEA, Montpellier, França.

⁵ Pesquisador(a), Doutor(a), IRSTEA, Montpellier, França.

⁶ Prof. Titular, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Montpellier - France. It was concluded that clay particles are deposited in the same regions where bigger particles, such as sand and silt. The regions that have the higher deposition rates are those who present low flow velocity with low turbulent kinetic energy and intensity of turbulence, mainly in the vortex and stagnation regions, located in the two first baffles of the labyrinth. No particles deposition was observed on the main flow region, it suggests that clay, as an isolated agent of clogging, has no potential to cause total clogging in the drippers.

KEYWORDS: clogging, microirrigation, small particles, increase of flow rate

INTRODUÇÃO

Os principais componentes do sistema de irrigação por gotejamento são os gotejadores, dispositivos que apresentam a função de emissão de água, são constituídos por canais com pequenas dimensões, em média 1 mm², e defletores, formando estruturas denominadas labirintos. Os defletores provocam interferência no escoamento, proporcionando aumento da intensidade de turbulência. Além disso, os defletores possibilitam a formação de vórtices, principais responsáveis pela dissipação da energia hidráulica (QINGSONG et al., 2006).

Observando-se as características do escoamento no interior dos labirintos dos gotejadores, pode-se distinguir três regiões de interesse. Essas regiões apresentam características distintas em relação à sensibilidade para deposição de partículas (LI et al., 2008; AL-MUHAMMAD; TOMAS; ANSELMET, 2016; ZHANG et al., 2010). A deposição de partículas no interior dos labirintos pode causar alterações no desempenho dos gotejadores, podendo provocar obstrução ou aumento da vazão dos emissores (OLIVEIRA et al., 2017).

Durante prévios ensaios de obstrução de gotejadores utilizando partículas de argila em suspensão, e alterando a força iônica da solução, observou-se que a força iônica da solução e a natureza dos compostos de argila apresentam influência sobre o desempenho dos gotejadores, podendo proporcionar incremento de até 5% vazão (OLIVEIRA et al., 2017). Visando a compreensão desse fenômeno, este trabalho teve como objetivo analisar o processo de deposição de partículas de argila que ocorre no interior dos labirintos dos gotejadores.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de deposição de partículas utilizando um dispositivo milifuidico foi realizada no Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA), localizado na cidade de Montpellier - França.

A fim de observar o processo de deposição de partículas de argila que ocorre no interior dos labirintos dos gotejadores, foi realizado um experimento utilizando um dispositivo milifluidico. Esse dispositivo é composto por duas placas de polimetil-metacrilato (PMMA) sobrepostas, com possibilidade de separação mediante a abertura de uma série de parafusos com porcas. Uma das placas apresenta um canal com dez defletores, com dimensões de 1,0 mm de largura e 0,5 mm de altura. O conjunto canal com defletores está disposto de forma semelhante ao labirinto de um gotejador de irrigação do tipo trapezoidal (Figura 1).

Para realização do ensaio de deposição, o dispositivo milifluidico foi instalado em um sistema fechado com recirculação de água. Inicialmente, a dispersão de partículas era preparada em um béquer. Posteriormente, utilizando uma bomba peristáltica, a dispersão era bombeada para a entrada do dispositivo milifluidico, após percorrer todo o dispositivo a dispersão retornava para o béquer, encerrando o ciclo. Todo o sistema era interligado utilizando microtubos transparentes.

Para melhor visualização dos locais de deposição de partículas, o dispositivo milifluidico foi instalado em um microscópio ótico, possibilitando o aumento em 4 e 10 vezes. O microscópio utilizado apresenta uma câmera acoplada, possibilitando a retirada de fotos das regiões com acúmulos de partículas. O béquer permaneceu sob um agitador magnético, mantendo as partículas em suspensão durante os ensaios (Figura 2).

Durante prévios ensaios de obstrução (ensaios laboratoriais de bancada), foi analisada o efeito da força iônica da solução sobre o desempenho de gotejadores, utilizando água com partículas de argila em suspensão. Foram analisados dois tipos de argila. Observou-se que houve um pequeno incremento de vazão dos gotejadores, e a redução de vazão foi muito pequena. Esse comportamento foi diferente para os dois tipos de argila analisados (caulinita e montmorilonita).

Visando a compreensão desse fenômeno, optou-se por submeter à análise com o dispositivo milifluidico uma dispersão contendo argila, sódio e o pH corrigido para aproximadamente 6 (utilizando HCl). Foram utilizados os mesmos compostos de argila, caulinita e montmorilonita de forma separada. A vazão utilizada foi ajustada para $0,6 \text{ L h}^{-1}$, mesma vazão nominal do modelo de menor vazão utilizado nos ensaios laboratoriais de bancada. A concentração para ambas as argilas foi de 500 mg L^{-1} . A fonte de sódio utilizada foi o NaCl, sendo adicionado $17,5 \text{ g L}^{-1}$ de NaCl para obter uma força iônica proporcionada pelo Na (I-Na) de $0,31 \text{ mol L}^{-1}$, semelhantes aos ensaios de bancada.

Os ensaios foram conduzidos em regime intermitente, sendo 8 h de funcionamento e 16 h em repouso por dia, por um tempo mínimo de 40 h. Após esse período, foram analisados os

resultados, e visando melhor compreensão do processo de deposição, optou-se por aumentar o período de ensaio para 68 h (caulinita) e 53 h (montmorilonita). No decorrer dos ensaios foram tiradas fotos (aumento de 4 e 10 vezes) de algumas regiões em que se observou acúmulo de partículas. A análise do comportamento da deposição de partículas foi realizada por meio de observações das regiões de deposição em função do tempo de ensaio e da extensão do labirinto.

RESULTADOS E DISCURSSÃO

A deposição de partículas de caulinita no labirinto do dispositivo milifluidico foi mais evidente nos primeiros defletores, o acúmulo ocorreu em maior quantidade até o segundo defletor. A partir do terceiro defletor, a deposição foi reduzida, mantendo-se aproximadamente as mesmas quantidades de material depositado entre o quarto e o décimo defletor.

A análise das zonas de deposição dentro de cada defletor, possibilitou observar que houve maior deposição nas zonas ímpares dos defletores (zonas 1, 3, 5 e 7). Considerando toda extensão do labirinto, observou-se que ocorreu maior deposição de partículas no início do labirinto. Esse aumento de deposição foi mais expressivo em relação ao eixo vertical. Em algumas zonas dos defletores, o aumento da deposição não foi diretamente proporcional ao tempo de ensaio, uma vez que foi observado que quando ocorre o acionamento do sistema, pode ocorrer a limpeza do labirinto por meio da reiterada de partículas. Contudo esse fenômeno não foi observado em todas as zonas, mesmo nas zonas em que houve a retirada de partículas, o fenômeno não ocorreu sempre que o sistema era acionado.

Analisando o defletor 2, observa-se um aumento crescente da deposição de partículas (pontos brancos) até às 68 h de ensaio (Figura 3). Pode-se identificar também que a deposição de partículas ocorreu de forma diferente nas duas regiões de escoamento do labirinto, ocorrendo unicamente nas zonas de vórtices e suas proximidades (zonas de estagnação). Na região do fluxo principal não houve deposição de partículas em nenhum defletor ao longo de todo período de ensaio.

Observando a zona 7, localizada no defletor 2, com aumento de 10 vezes, identifica-se também que a deposição de partículas se mantém praticamente a mesma desde o primeiro dia de ensaio (imagem tirada após 7 h de ensaio). Contudo, após 68 h de ensaio, observa-se uma pequena remoção das partículas (Figura 4).

Buscando compreender o fenômeno de autolimpeza que ocorreu no interior do labirinto, antes de iniciar o tratamento que completaria às 61 h e às 68 h de ensaio, foram retiradas fotos da zona 1 (Figura 5) e da zona 3 (Figura 6). Após o acionamento do sistema, foram novamente

retiradas fotos das mesmas zonas. Esse procedimento visou identificar se o processo de remoção de partículas de argila ocorria após o acionamento do sistema. Observou-se que, para as duas zonas analisadas (1 e 3), o acionamento do sistema foi o principal responsável pela autolimpeza do labirinto. Não obstante, a autolimpeza não foi observada em ambos os dias analisados, ocorrendo apenas antes do ensaio que completaria 68 h.

A deposição de partículas de montmorilonita (pontos brancos) foi muito menor quando comparada com a de caulinita. No início do ensaio ocorreu uma pequena deposição na entrada do labirinto (defletor 1, zona 1), essa deposição se manteve até o final do ensaio (53 h) (Figura 7).

Esta pesquisa foi realizada buscando compreender o fenômeno de incremento de vazão proporcionado pelo aumento da força iônica da água. Esse fenômeno foi observado em ensaios de obstrução utilizando água com partículas de argila em suspensão.

Na presente pesquisa, observou-se que o aumento da força iônica proporcionou maior deposição de partículas de caulinita. O efeito da força iônica não foi observado sobre a deposição de partículas de montmorilonita. Assim, o incremento de vazão dos gotejadores pode ser atribuído à redução do efeito dos vórtices sobre o escoamento no interior do labirinto. Pode-se sugerir que a deposição de partículas que ocorre nas regiões de menor energia cinética turbulento e intensidade de turbulência (regiões de vórtices e estagnação), provoca redução ou eliminação dos vórtices, proporcionando aumento da velocidade de escoamento na região do fluxo principal e também aumento da região do fluxo principal, conseqüentemente aumento de vazão do emissor.

O incremento de vazão em pesquisas de obstrução de gotejadores também foi observado utilizando o íon Na associado com partículas de montmorilonita (BOUNOUA et al., 2016); na análise do desempenho de gotejadores submetidos a diferentes condições formadoras de biofilme (GAMRI et al., 2014); e, na análise de obstrução causada por água residuária submetida a diferentes níveis de filtragem (RAVINA et al., 1992). Não obstante, este fenômeno é mais comum quando ocorre a utilização de gotejadores autocompensantes durante os ensaios (PINTO et al., 2017).

Nesta pesquisa, observou-se também a possibilidade de ocorrência do fenômeno de autolimpeza do labirinto. Esse processo pode ocorrer no momento em que o sistema é acionado. A deposição e limpeza das partículas de argila no interior dos gotejadores pode ser utilizada para explicar as variações dos valores de vazão durante os ensaios de obstrução. Em pesquisas que visam melhorar o desempenho antiobstrução dos gotejadores, a autolimpeza é considerada

uma alternativa que pode ser explorada durante o projeto de gotejadores com potencial antiobstrução (LIU et al., 2010).

CONCLUSÕES

Em relação a deposição de partículas, pode-se afirmar que as partículas de argila se depositam nas mesmas regiões de acúmulo que partículas maiores. As regiões de maiores deposições coincidem com os locais que apresentam menores valores de intensidade de turbulência e energia cinética turbulenta, sendo principalmente nas regiões de vórtices e estagnação, localizadas nos dois primeiros defletores dos labirintos. Além disso, por não ocorrer acúmulo de partículas na região do fluxo principal, sugere-se que partículas de argila não apresentam potencial para causar obstrução completa dos gotejadores.

As naturezas das argilas apresentam diferentes efeitos sobre a deposição de partículas durante o escoamento, uma vez que partículas de caulinita foram mais sensíveis a deposição que as partículas de montmorilonita. Esse processo ainda necessita maiores estudos para ser completamente compreendido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-MUHAMMAD, J.; TOMAS, S.; ANSELMET, F. Modeling a weak turbulent flow in a narrow and wavy channel: case of micro-irrigation. *Irrigation Science*, v.34, n.5, p. 361–377, 2016.

BOUNOUA, S.; TOMAS, S.; LABILLE, J.; MOLLE, B.; GRANIER, J.; HALDENWANG, P.; IZZATI, S.N. Understanding physical clogging in drip irrigation: in situ, in-lab and numerical approaches. *Irrigation Science*, v.34, n.4, p.327–342, 2016.

CAMARGO, A. P.; MOLLE, B.; TOMAS, S.; FRIZZONE, J. A. Assessment of clogging effects on lateral hydraulics: proposing a monitoring and detection protocol. *Irrigation Science*, v.32, n.3, p.181–191, 2013.

GAMRI, S.; SORIC, A.; TOMAS, S.; MOLLE, B.; ROCHE, N. Biofilm development in micro-irrigation emitters for wastewater reuse. *Irrigation Science*, v.32, n.1, p. 77–85, 2014.

LI, Y. K.; LIU, Y.Z.; LI, G.B.; XU, T.W.; LIU, H.S.; REN, S.M.; DA YAN, Z.; YANG, P. L. Surface topographic characteristics of suspended particulates in reclaimed wastewater and

effects on clogging in labyrinth drip irrigation emitters. *Irrigation Science*, v.30, n.1, p.43–56, 2012.

LI, Y.; YANG, P.; XU, T.; REN, S.; LIN, X.; WEI, R.; XU, H. CFD and digital particle tracking to assess flow characteristics in the labyrinth flow path of a drip irrigation emitter. *Irrigation Science*, v.26, n.5, p.427–438, 2008.

LIU, H.S.; LI, Y.K.; LIU, Y.Z.; YANG, P.L.; REN, S.M.; WEI, R.J.; XU, H.B. Flow characteristics in energy dissipation units of labyrinth path in the drip irrigation emitters with DPIV technology. *Journal of Hydrodynamics*, v.22, n.1, p.137–145, 2010.

OLIVEIRA, F.C.; LAVANHOLI, R.; CAMARGO, A.P.; FRIZZONE, A.; AIT-MOUHEB, N.; TOMAS, S.; MOLLE, B. Influence of concentration and type of clay particles on dripper clogging. *Irrigation & Drainage Systems Engineering*, v.6, n.1, p.1000184–1000189, 2017.

PINTO, M.F.; MOLLE, B.; ALVES, D.G.; AIT-MOUHEB, N.; CAMARGO, A.P.; FRIZZONE, J. A. Flow rate dynamics of pressure-compensating drippers under clogging effect. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.5, p.304–309, 2017.

QINGSONG, W.; YUSHENG, S.; GANG, L.; WENCHU, D.; SHUHUI, H. Study of hydraulic performance of the eddy channel for drip emitters. *Irrigation and Drainage*, v.55, n.1, p.61–72, 2006.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. *Irrigation Science*, v.13, n.3, p.129–139, 1992.

WEI, Z.; CAO, M.; LIU, X.; TANG, Y.; LU, B. Flow behaviour analysis and experimental investigation for emitter micro-channels. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, v.25, n.4, p.729–737, 2012. *Management*, v.32, n.3, p.275–284, 1997.

ZHANG, J.; ZHAO, W.; TANG, Y.; LU, B. Anti-clogging performance evaluation and parameterized design of emitters with labyrinth channels. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.74, n.1, p.59–65, 2010.

ZHOU, B.; LI, Y.; LIU, Y.; XU, F.; PEI, Y.; WANG, Z. Effect of drip irrigation frequency on emitter clogging using reclaimed water. *Irrigation Science*, v.33, n.3, p.221–234, 2015.

ZHOU, B.; LI, Y.; PEI, Y.; LIU, Y.; ZHANG, Z.; JIANG, Y. Quantitative relationship between biofilms components and emitter clogging under reclaimed water drip irrigation. *Irrigation Science*, v.31, n.6, p.1251–1263, 2013.

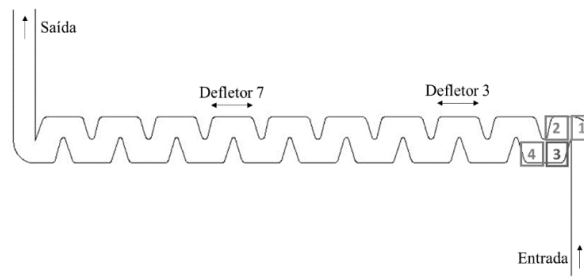


Figura 1 - Esquema do labirinto presente no dispositivo milifluidico, com destaque para diferentes zonas e defletores

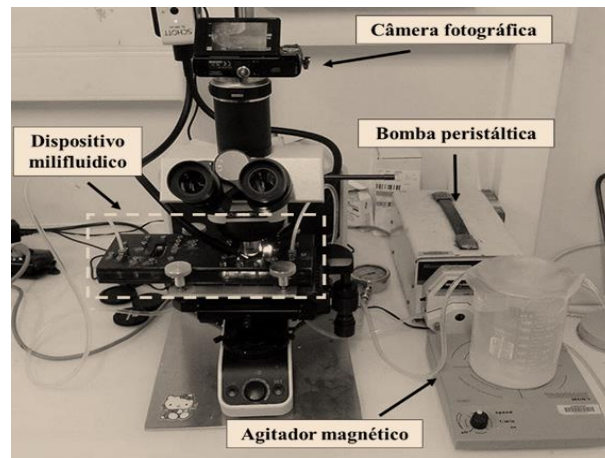


Figura 2 - Visão geral dos componentes utilizados no estudo de deposição de partículas

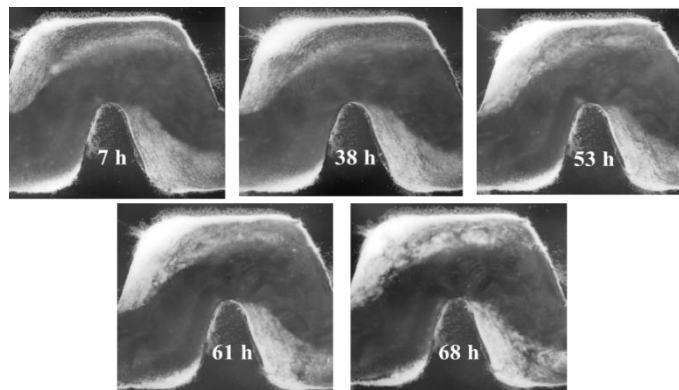


Figura 3 - Deposição de partículas de caulinita (Kt) observada no defletor 2 em função do tempo de ensaio (aumento de 4 vezes)

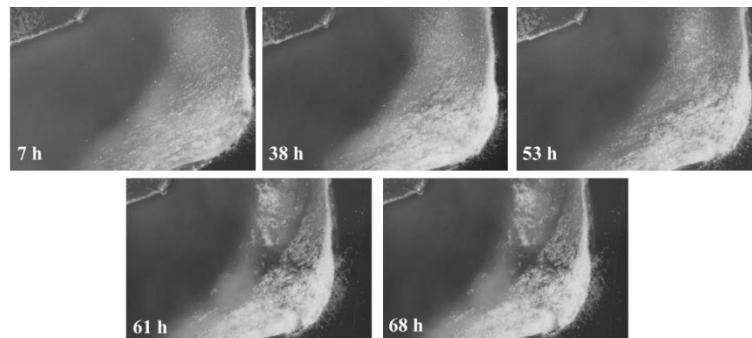


Figura 4 - Deposição de partículas de caulinita (Kt) observada na zona 7 em função do tempo de ensaio (aumento de 10 vezes)

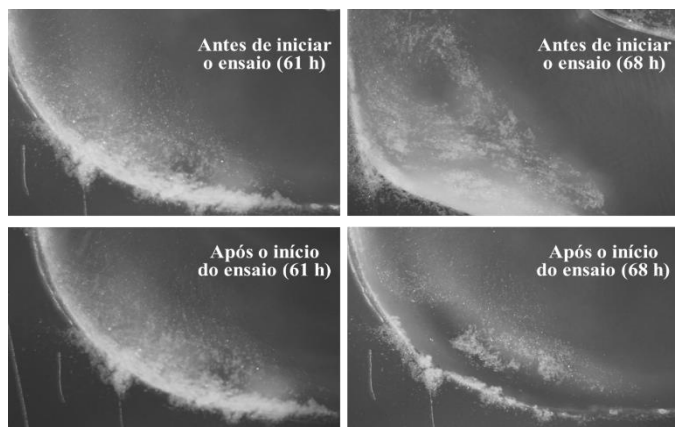


Figura 5 - Deposição de partículas de caulinita (Kt) observada na zona 1 antes e após o acionamento do sistema (aumento de 10 vezes)

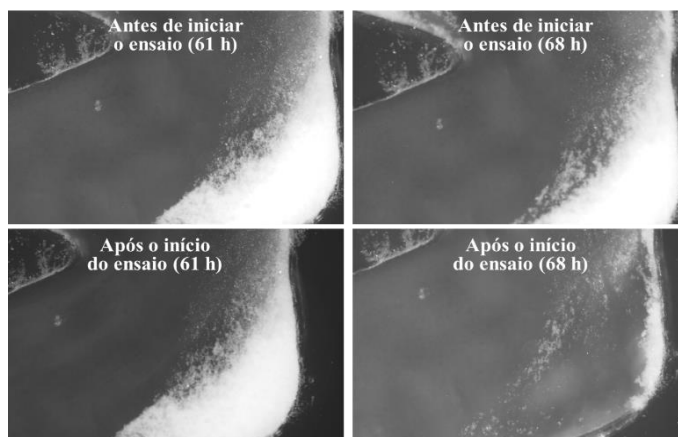


Figura 6 - Deposição de partículas de caulinita (Kt) observada na zona 3 antes e após o acionamento do sistema (aumento de 10 vezes)

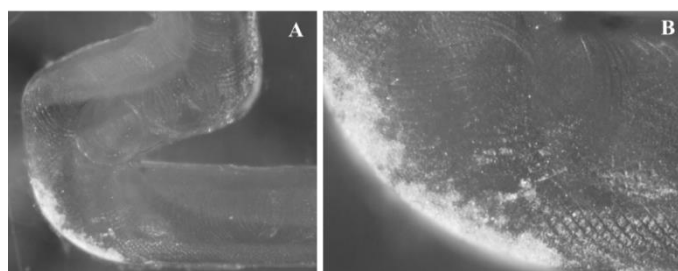


Figura 7 - Deposição de partículas de montmorilonita (Mt) observada no defletor 1 (imagem A, aumento de 4 vezes) e zona 1 (imagem B, aumento de 10 vezes) após 53 h de ensaio