

Impressão 3D de Dispositivos Microfluídicos



Dr. Harrison S. Santana

harrison.santana@gmail.com

<https://www.blogs.unicamp.br/microfluidicaeengenhariaquimica/>

   @meqblog

Novembro/2018

Impressão 3D de Dispositivos Microfluídicos



Dr. Harrson S. Santana

harrison.santana@gmail.com

<https://www.blogs.unicamp.br/microfluidicaeengenhariaquimica/>

   @meqblog

Novembro/2018

❑ O programa do curso está dividido em:

- Introdução ao conceito de Microfluídica e impressão 3D de microdispositivos
- Introdução ao conceito de impressão 3D e impressão 3D de microdispositivos
- Conceitos básicos do *software Autodesk Inventor*
- Modelagem e etapas de impressão 3D de dispositivos microfluídicos

Laboratório de Processos Termofluidodinâmicos (LPTF) – Grupo de Microfluídica & Impressão 3D

Prof. Dr. Osvaldir P. Taranto

Dr. Harrson S. Santana

Prof. Dr. João Lameu da Silva Jr.

Estudantes:

Mariana G. M. Lopes; Adriano Paixão Silva; Lene Welter;

Mariana Ávila; Érika Marques; Marcos Rúberon;

Alan Rodrigues; Rodrigo Bagarolo; João Pedro Caldi; Fernando Liedmann

Colaboradores externos:

Profa. Dra. Lucimara Gaziola de la Torre (FEQ/UNICAMP)

Prof. Dr. Mauri Sergio Alves Palma (FBT/USP)



Agências de fomento à pesquisa



Parceiros



O PROJETO DE BLOGS DE CIÊNCIA DA UNICAMP

O projeto **Blogs de Ciência da Unicamp** visa a criar uma cultura de divulgação científica para pesquisadores, docentes e alunos de pós-graduação da Universidade Estadual de Campinas, levando para o público em geral o conteúdo científico produzido dentro dessa universidade e aproximando a ciência do público em geral.



Microfluídica & Engenharia Química
Tentando entender a junção do micro e do macro

Home Sobre o blog Sobre o autor Blogging Contato

Curso de Impressão 3D de dispositivos microfluídicos

por Harrison S. Santana | 8 de outubro de 2018

Cursos, Fabricação de microdispositivos, Impressão 3D, Microfluídica, Microrreatores [Deixe um comentário](#)

[f](#) [t](#) [Curtir](#) [Tweelar](#) [✉](#)

Queridos leitores espero que esteja tudo bem com vocês! Desculpe-me pela ausência essas últimas semanas. Essas últimas semanas tem sido muito difícil parar para atualizar vocês sobre o mundo da Microfluídica & Engenharia Química. Isso é devido a alguns projetos que ando desenvolvendo e tem consumido todo o meu tempo. E hoje eu tenho o prazer de anunciar um deles para vocês. No mês de novembro, nos dias 6 e 8 (terça e quinta) e 12 e 14 (segunda e quarta) eu estarei ministrando o curso de Impressão 3D de Dispositivos Microfluídicos no (EA)² - Ciclo Básico - CB 55 na Unicamp. O objetivo ao final do curso é que os participantes possam projetar e



☐ Lembretes:

- ✓ Trazer o *notebook*;
- ✓ Download do software *Cura Slicer* (versão 15.04.6);
- ✓ Download do arquivo digital (STL) de um microdispositivo (disponível no blog – 07/11)



A screenshot of the Ultimaker Cura software website. The page features the 'Ultimaker Cura software' title, a description of the software's capabilities, and a prominent blue 'Download for free' button. Below the button are links for 'Download Ultimaker Cura 3.6 (beta)', 'View the Ultimaker Cura manual', 'View all versions', and 'Release notes'. On the right side of the page, there is an image of a laptop displaying the Cura software interface and a 3D printer. A blue 'Support' button is located at the bottom right of the image area.

❑ O programa do curso está dividido em:

➤ **Introdução ao conceito de Microfluídica e impressão 3D de microdispositivos**

➤ Introdução ao conceito de impressão 3D e impressão 3D de microdispositivos

➤ Conceitos básicos do *software Autodesk Inventor*

➤ Modelagem e etapas de impressão 3D de dispositivos microfluídicos

- ❑ Por que começamos a trabalhar com impressão 3D?
 - ❖ Necessidade de fabricar peças e dispositivos reacionais com baixo custo e de forma rápida.
- ❑ Para começar a fabricar peças utilizando impressão 3D, você precisa:

- Mesa ou bancada;
- Computador;
- Impressora 3D e seus acessórios;
- Conhecimento.



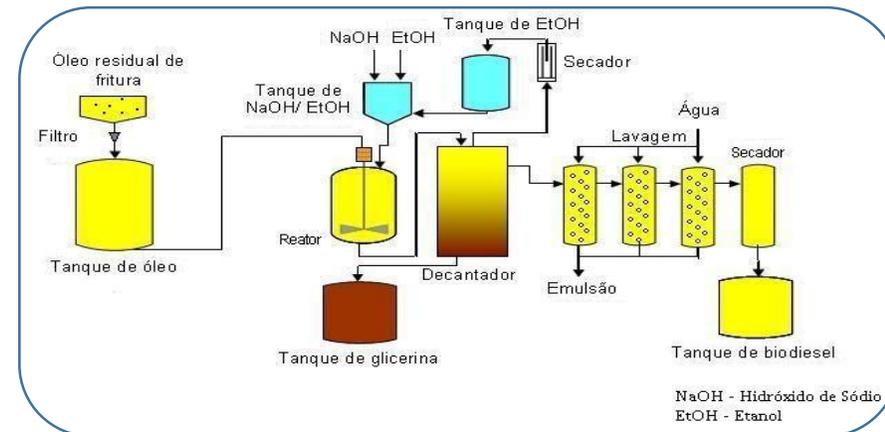
Fonte da imagem: <https://goo.gl/n8Di6h>

- ❑ Nossas pesquisas focam no desenvolvimento de processos químicos em microescala e não em impressão 3D!



- ❑ Nossas pesquisas focam no desenvolvimento de processos químicos em microescala e não em impressão 3D!

Entrada → **Processo** → Saída

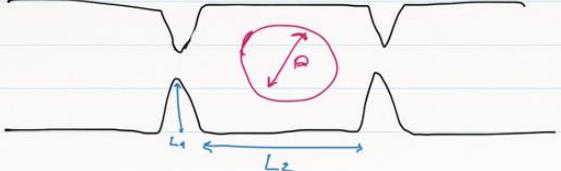


Fonte das imagens - Internet

- ❑ Nossas pesquisas focam no desenvolvimento de processos químicos em microescala e não em impressão 3D!



- ❑ Nossas pesquisas focam no desenvolvimento de processos químicos em microescala e não em impressão 3D!
- ❖ Desenvolvimento de processos químicos em microescala – **Ideias iniciais**



- $W_m = 1,5 \text{ mm}$
 $L_M = 35 \text{ mm}$
 - $H = 200 \mu\text{m}$

• $L_1 = \frac{2}{3} W_m = 0,166$

$L_1 = 650 \mu\text{m} = 0,86$

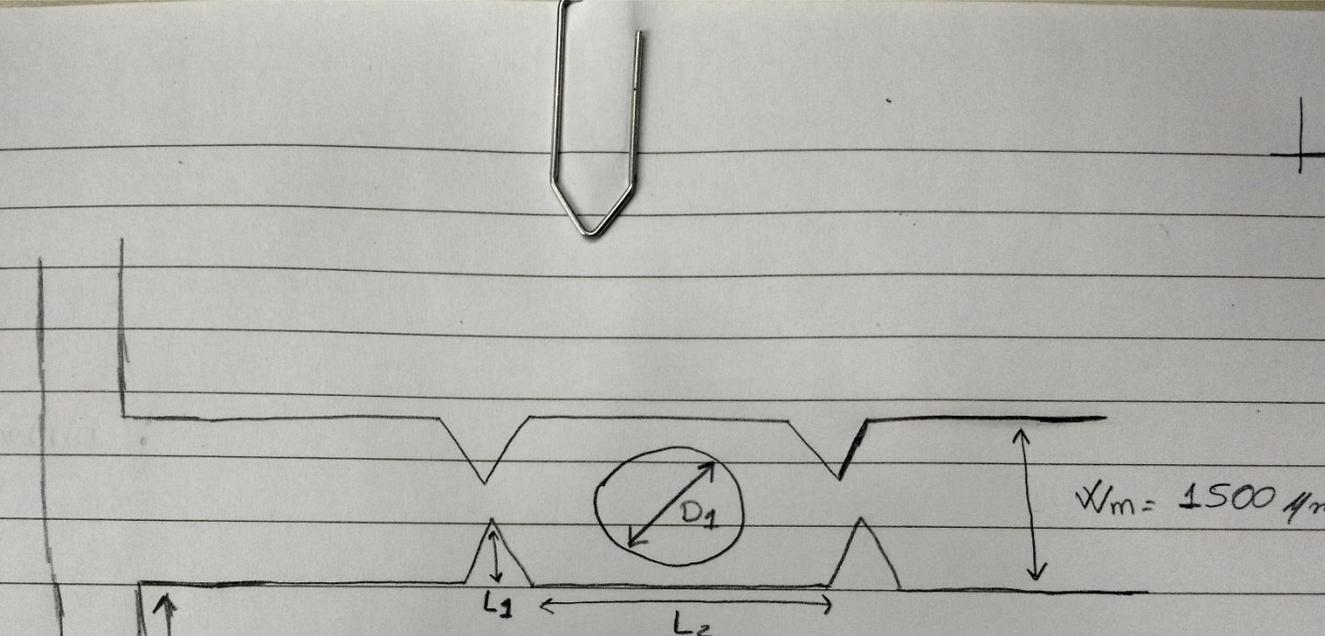
L_1	: 0,46;	0,66;	0,86
γ	: 90;	;	60 graus
D	: 300	; 600;	1100 μm
L_2	: 1300;	1800;	2100 μm

Respostas: M - P (M/P)

* Fluido $\text{H}_2\text{O}/\text{Etanol}$ a 25°C

* $Re = 0,1$

* 

$W_m = 1500 \mu\text{m}$

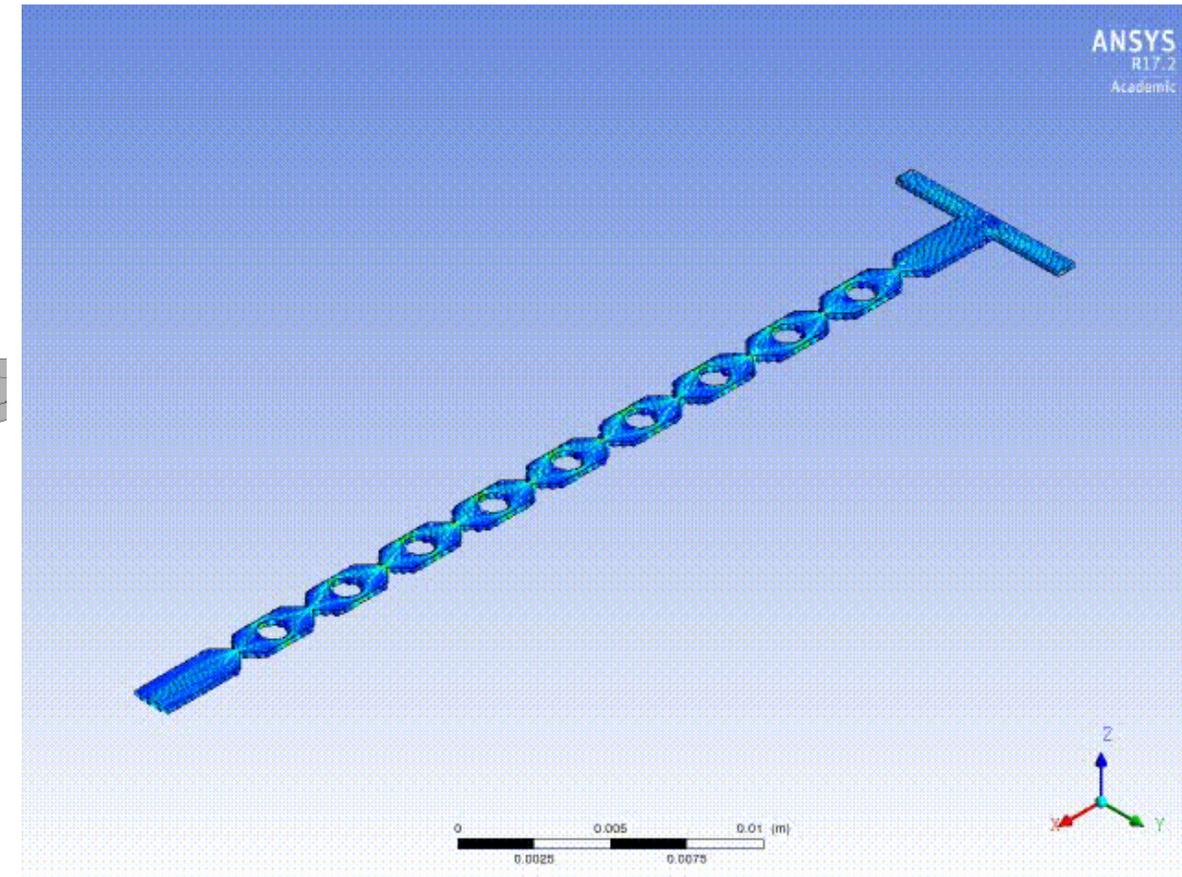
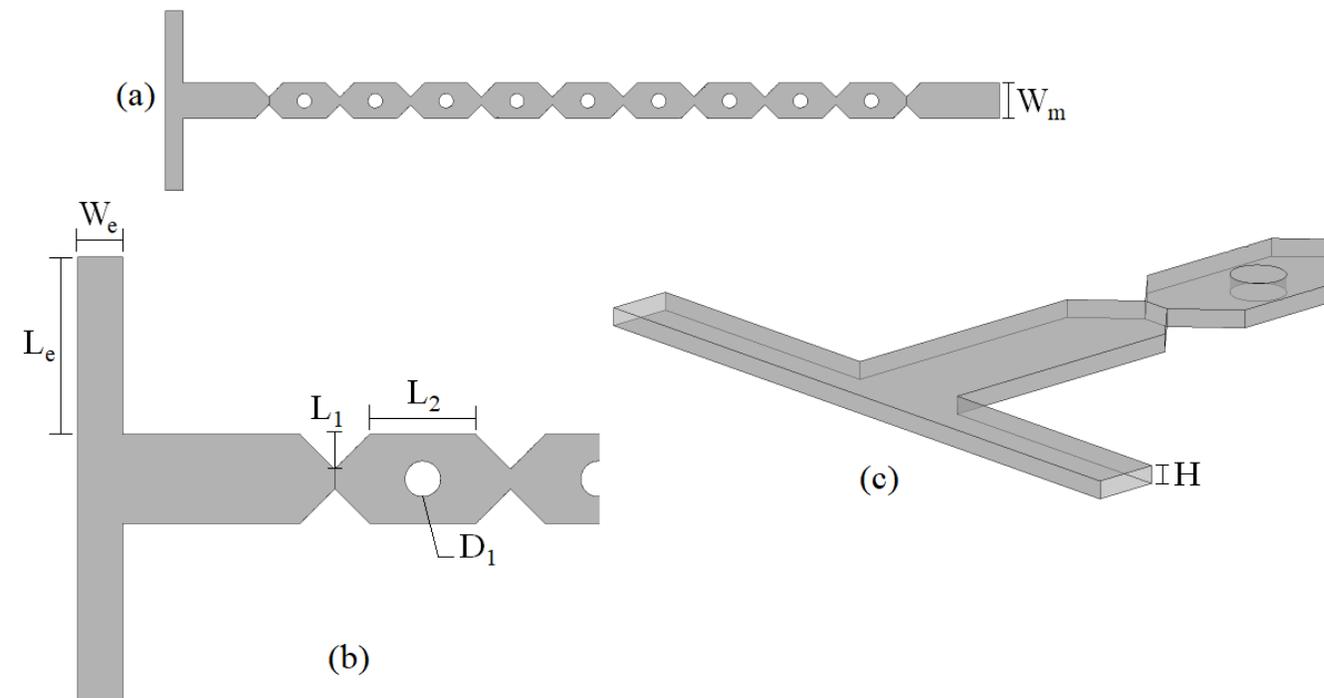
L_1 L_2

$L_e = 3000 \mu\text{m}$

$W_e = 750 \mu\text{m}$

D_1

- ❑ Nossas pesquisas focam no desenvolvimento de processos químicos em microescala e não em impressão 3D!
- ❖ Desenvolvimento de processos químicos em microescala – **Modelo do dispositivo em softwares computacionais**



- ❑ Nossas pesquisas focam no desenvolvimento de processos químicos em microescala e não em impressão 3D!
- ❖ Desenvolvimento de processos químicos em microescala – **Publicação dos resultados computacionais**

Sensors & Actuators: B. Chemical 281 (2019) 191–203



Optimization of micromixer with triangular baffles for chemical process in millidevices

Harrison S. Santana^{a,*}, João L. Silva Jr.^b, Osvaldir P. Taranto^a

^a School of Chemical Engineering, University of Campinas, 13083-852, Campinas, SP, Brazil

^b Federal Institute of Education, Science and Technology of South of Minas Gerais – IFSUDEMINAS, 37560-260, Pouso Alegre, MG, Brazil

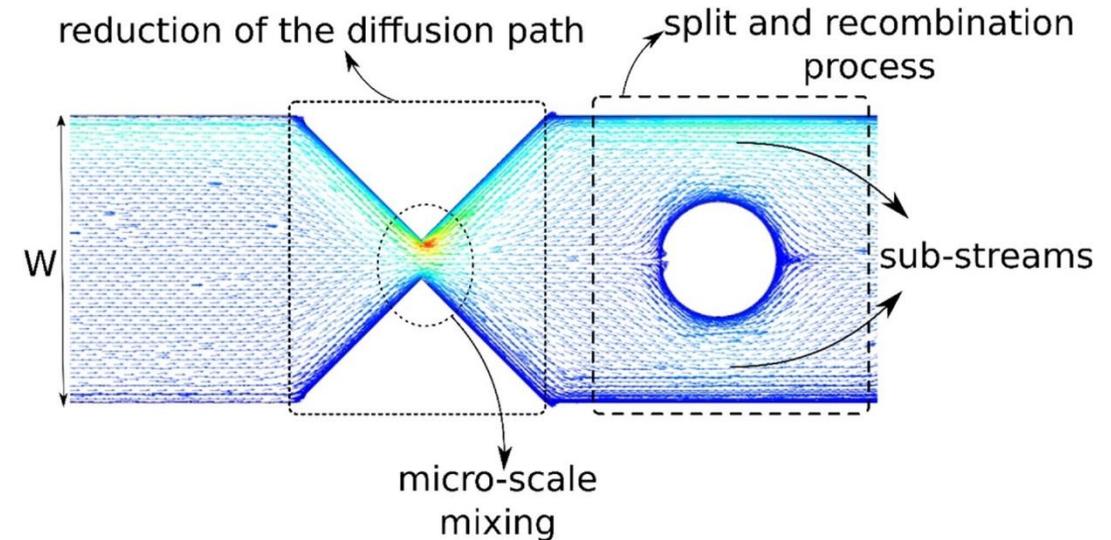
ARTICLE INFO

Keywords:
Micromixers
Baffles
Circular obstructions
Millidevices
Numerical simulation
Process intensification

ABSTRACT

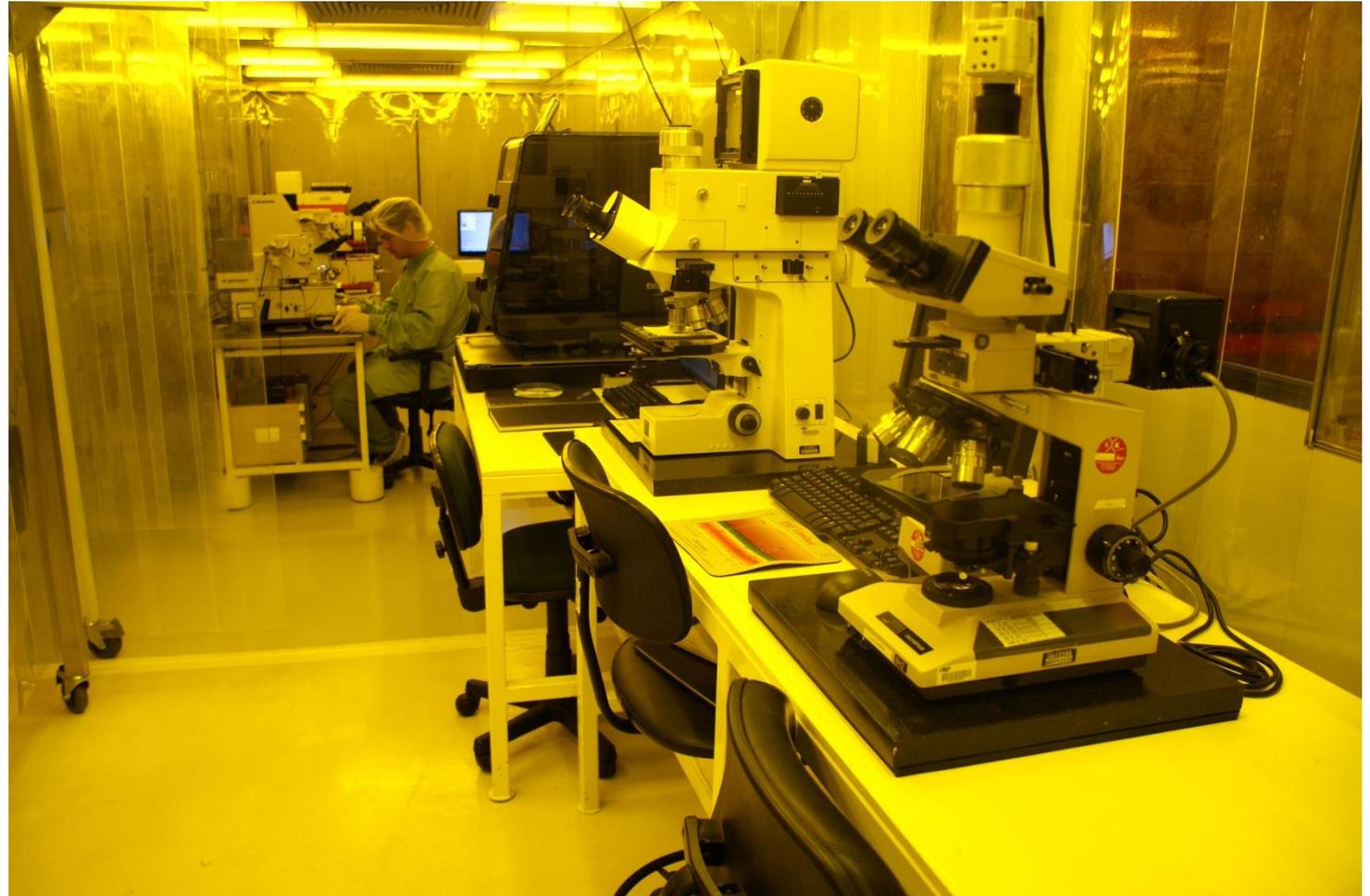
A new micromixer design (MTB – micromixer with triangular baffles and circular obstructions) was proposed aiming the combination of three mass transfer enhancements mechanisms: reduction of molecular diffusion path, split and recombination of streams and vortex generation. The geometric variables were also optimized considering the mixing performance and the required pressure drop. The optimal design was used for the mixing of different binary mixtures (vegetable oil/ethanol and water/ethanol) under the Reynolds number range from 0.01 to 200 and the chemical reaction process of vegetable oil transesterification with ethanolic solution of sodium hydroxide (biodiesel synthesis). High mixing index ($M = 0.99$) was observed for the oil/ethanol mixing for several channel heights (200 μm –2000 μm) and widths (1500 μm –3000 μm). The geometry W3000H400 (i.e., MTB with channel width of 3000 μm and height of 400 μm) was employed as the millireactor, providing a maximum oil conversion of 92.67% for a residence time of 30 s. For the water/ethanol mixing, the geometry W1500H200 was used. High mixing index ($M = 0.99$) was observed at very low Reynolds number ($Re = 0.1$) and also in higher Reynolds numbers of 50 and 100. Moreover, at $Re = 0.1$, high mixing index ($M = 0.99$) was obtained already at 3.5 mm of channel length. However, for higher Reynolds number the fluids required longer distances to achieve superior mixing, about 10.5 mm at $Re = 100$. The MTB, unlike the ones found in the literature, can be used in microdevices (e.g., sensors) with low flow rates and in microdevices with large dimensions (eg, millidevices and millireactors) with high flow rates, allowing an easier application in chemical process aiming the commercial production.

Graphical abstract



- ❑ Nossas pesquisas focam no desenvolvimento de processos químicos em microescala e não em impressão 3D!
 - ❖ E os resultados experimentais?
 - ❖ Como fabricar os dispositivos?

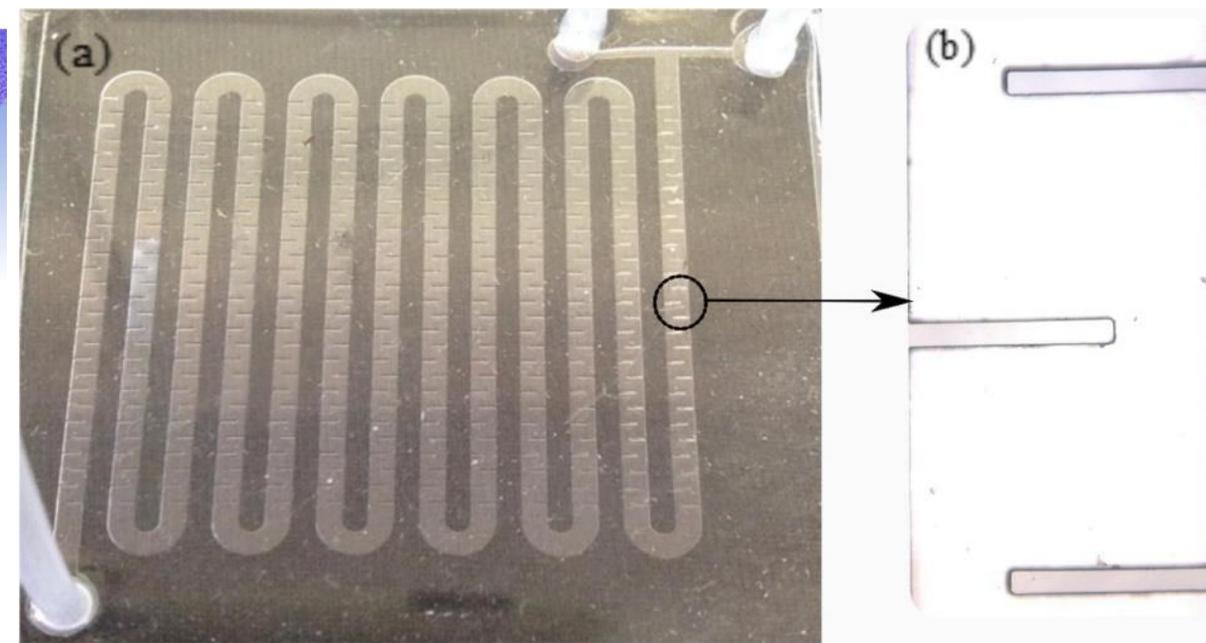
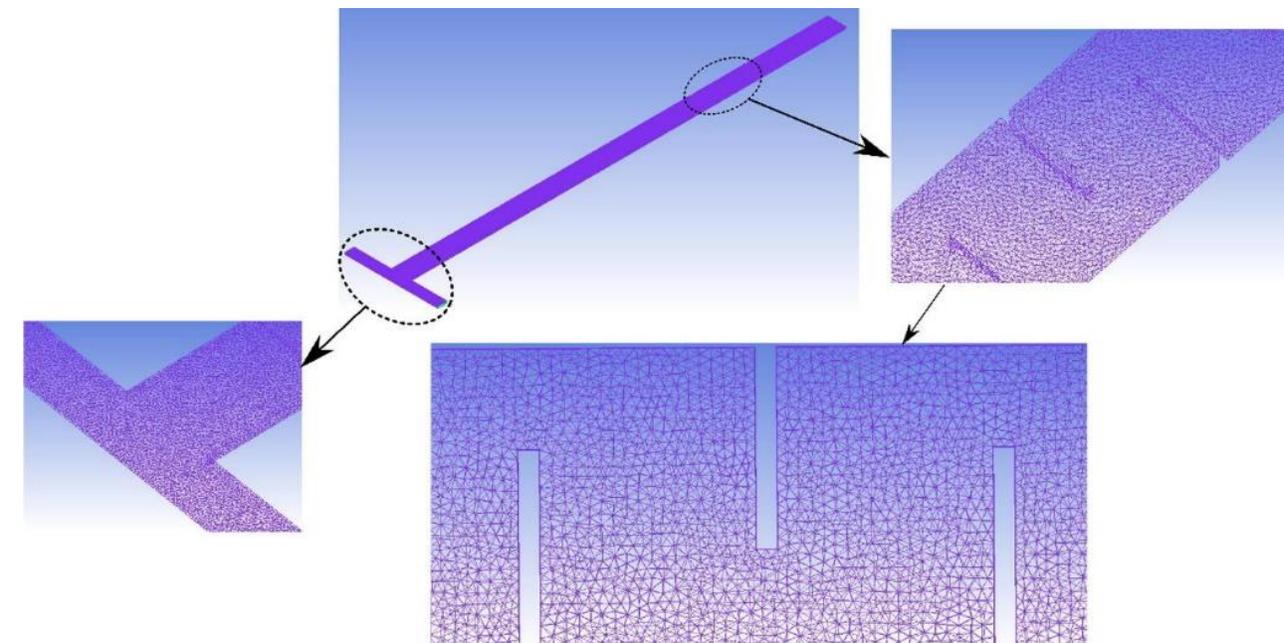
- ❑ Nossas pesquisas focam no desenvolvimento de processos químicos em microescala e não em impressão 3D!
- ❖ E os resultados experimentais?
- ❖ Como fabricar os dispositivos?



Sala limpa do Laboratório de Microfabricação (LNNano)

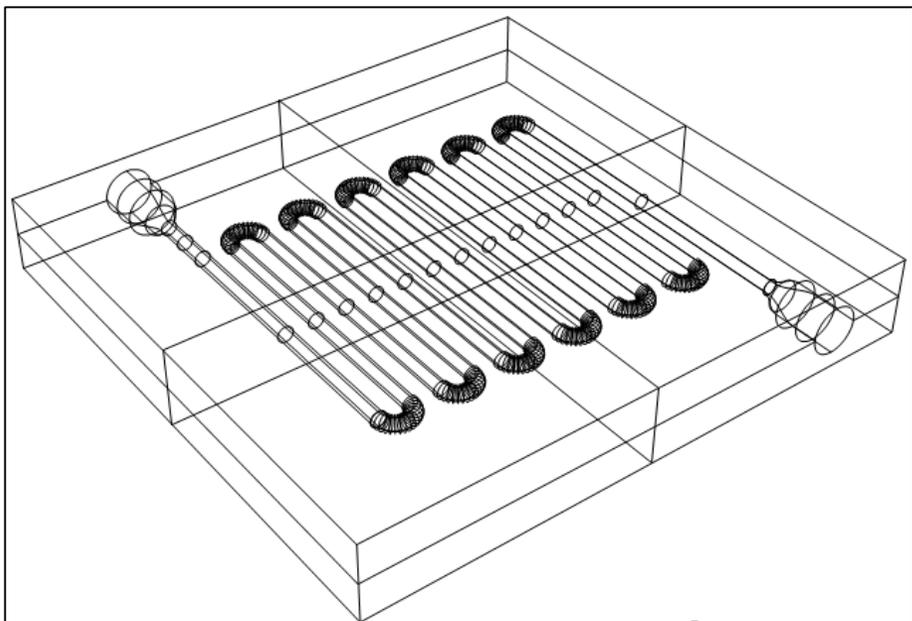
- ❑ Nossas pesquisas focam no desenvolvimento de processos químicos em microescala e não em impressão 3D!
- ❖ E os resultados experimentais?
- ❖ Como fabricar os dispositivos?

(a) Microrreator; (b) Ampliação em 100x.

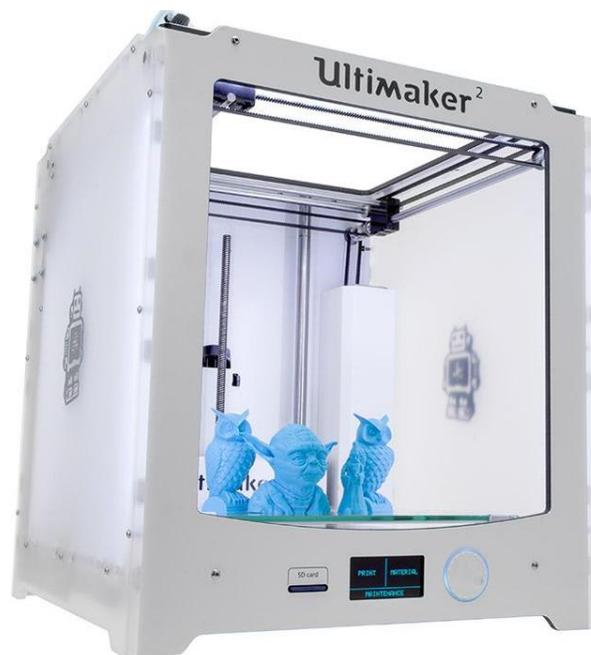


Santana et al., *Energy Conversion and Management*, v. 141, p. 28-39, 2017

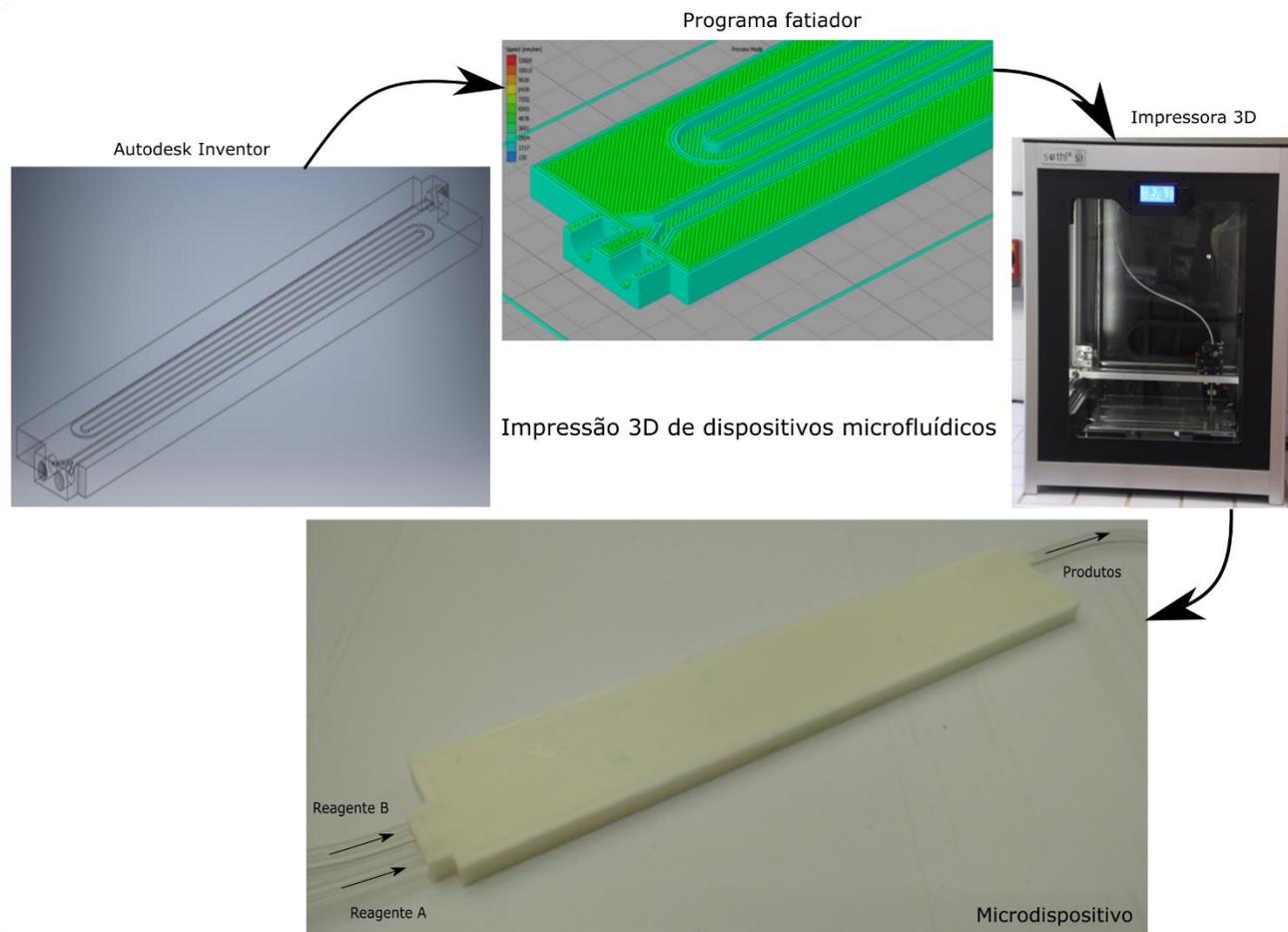
- ❑ No começo (2015), só o desenvolvimento do modelo digital e a impressão 3D terceirizada.



Modelo digital

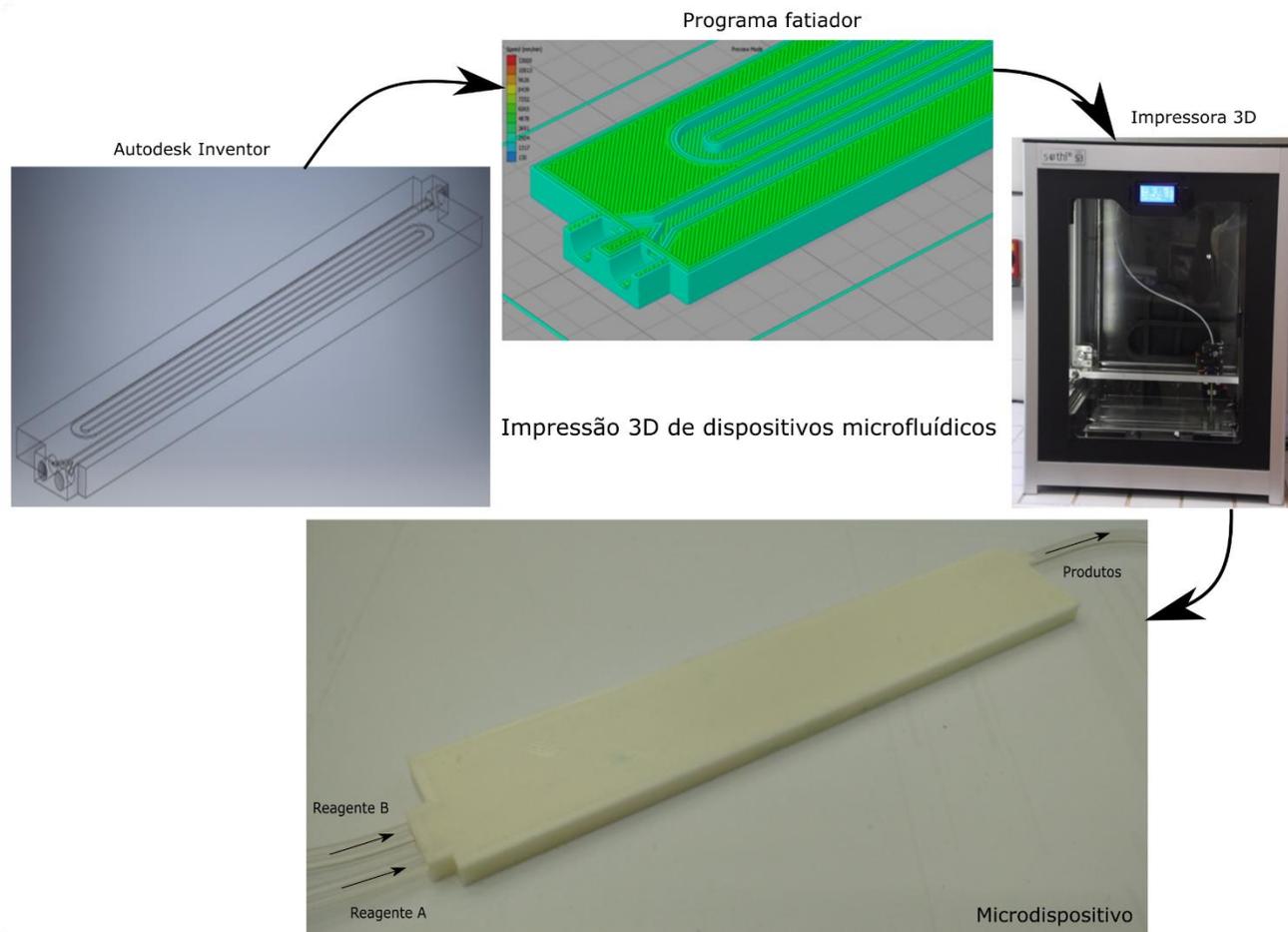


☐ De volta ao Brasil (2016 - 2017)!



Expectativa

❑ De volta ao Brasil (2016 - 2017), a realidade ficou muito distante da expectativa!



Expectativa



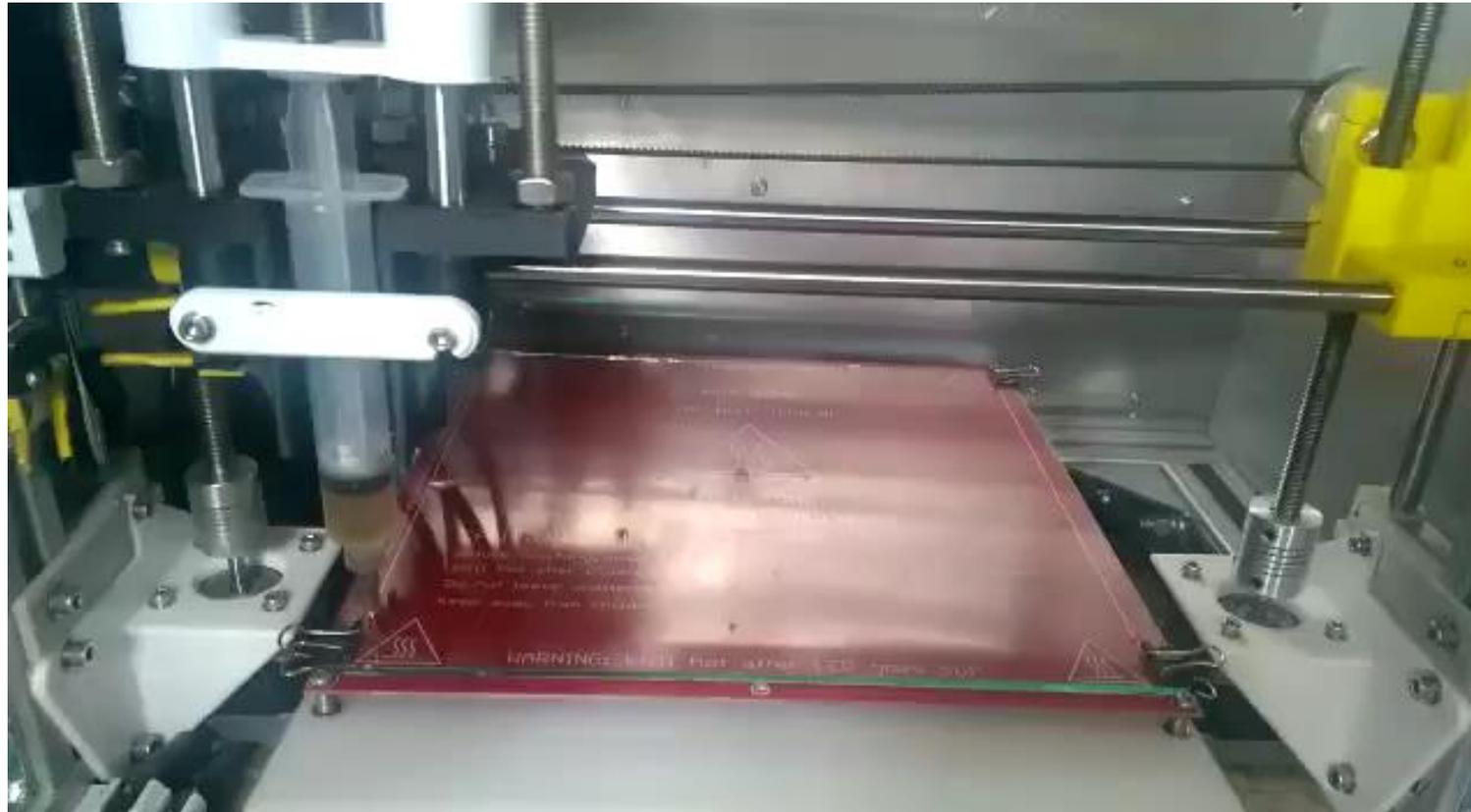
Realidade

Milirreatores impressos que apresentaram vazamentos

- ❑ E como estamos agora (2018)?
 - ✓ Dispositivos impressos para elevadas vazões!

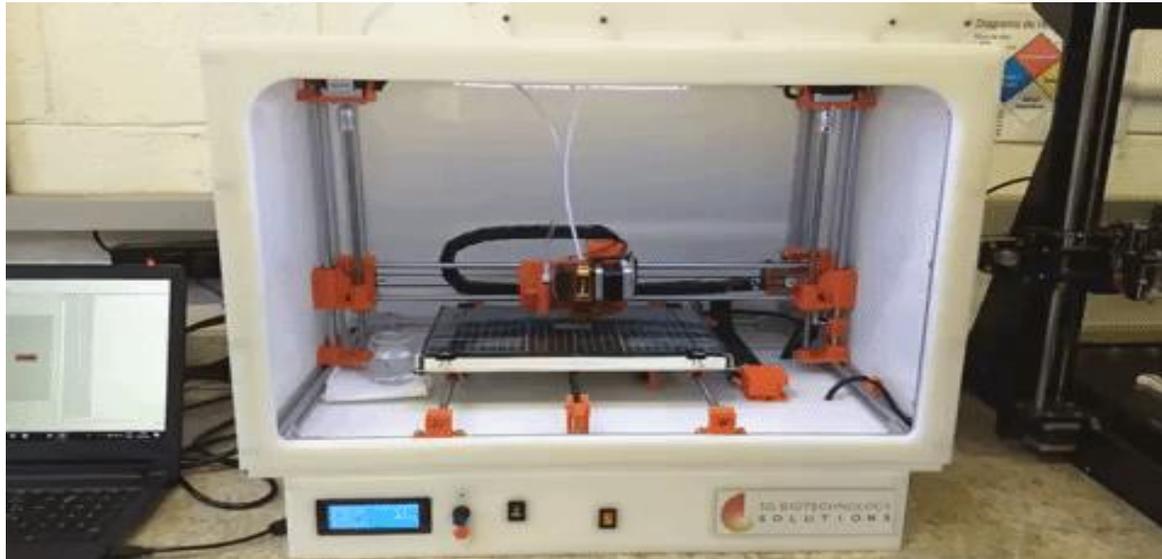
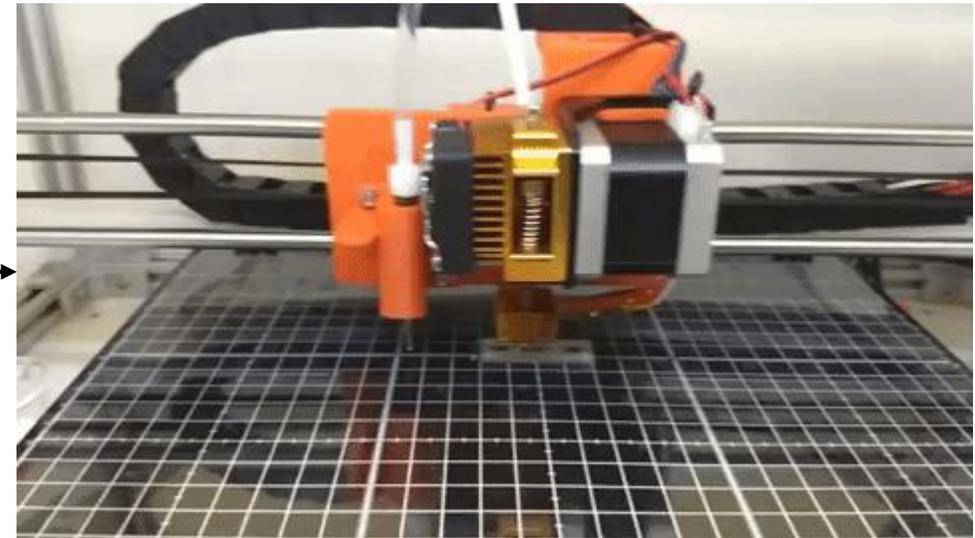


- ❑ E como estamos agora (2018)?
 - ✓ Impressão de polímero e solução!

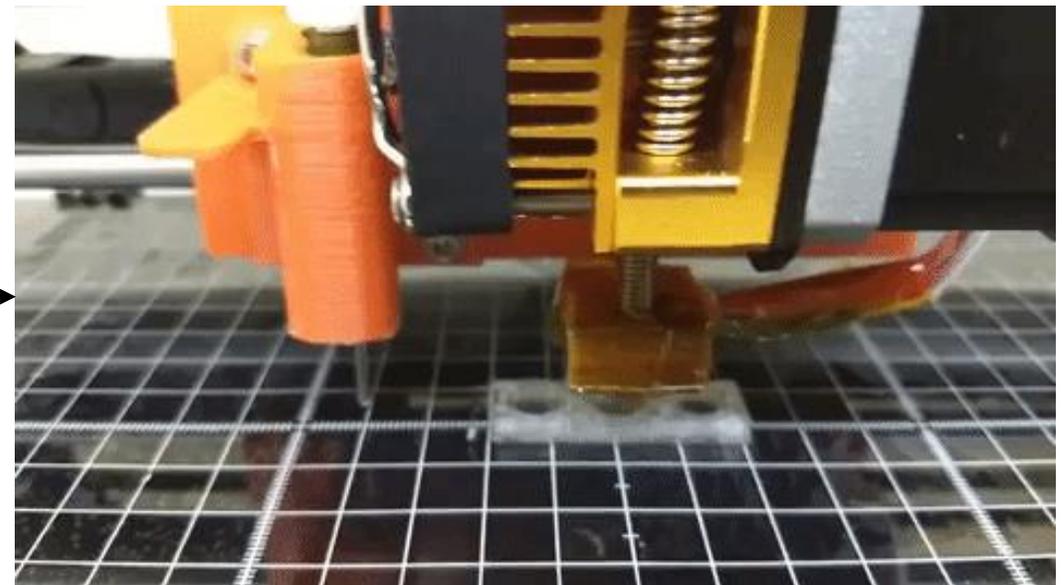


- ❑ E como nós estamos agora (2018)?
 - ✓ Impressão de polímero e solução!

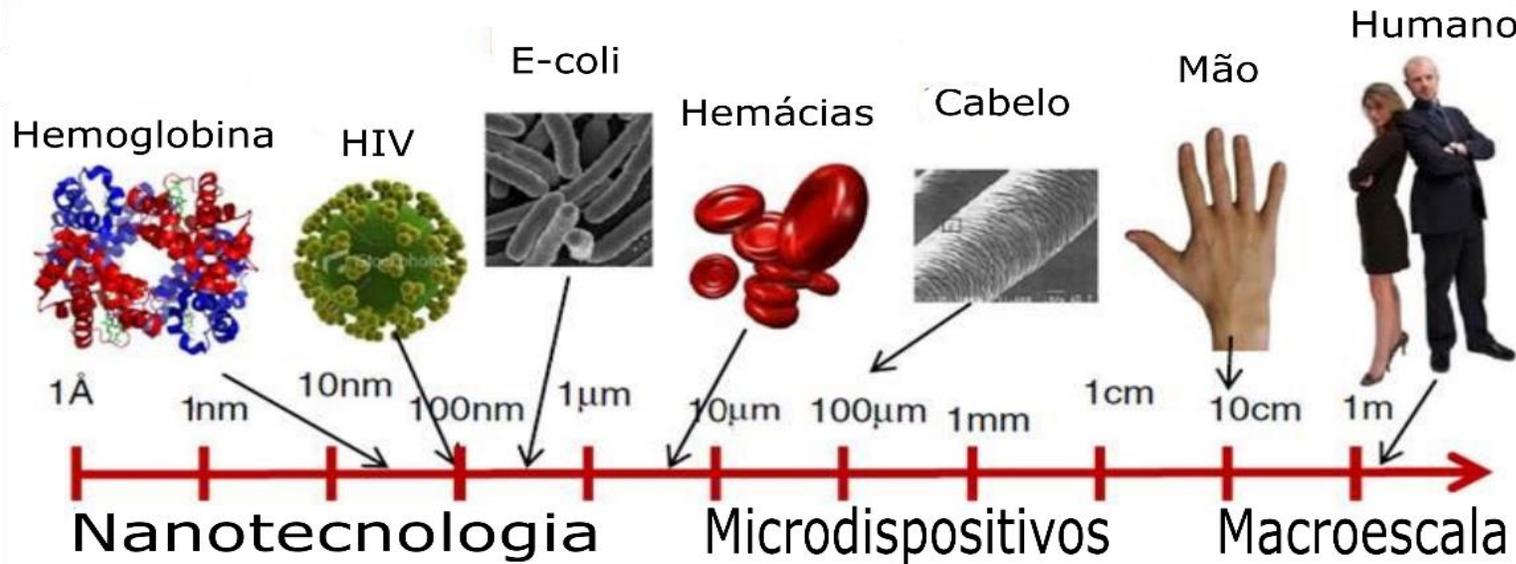
Polímero



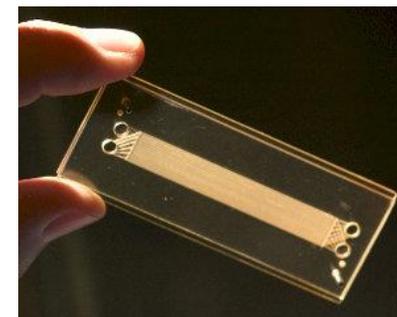
Solução



❑ Microfluídica - ciência e tecnologia de sistemas as quais manipulam e estudam pequenas quantidades de fluidos, utilizando estruturas com dimensões micrométricas. (Whitesides, G. M. *Nature*, v. 442, p. 368-373, 2006)

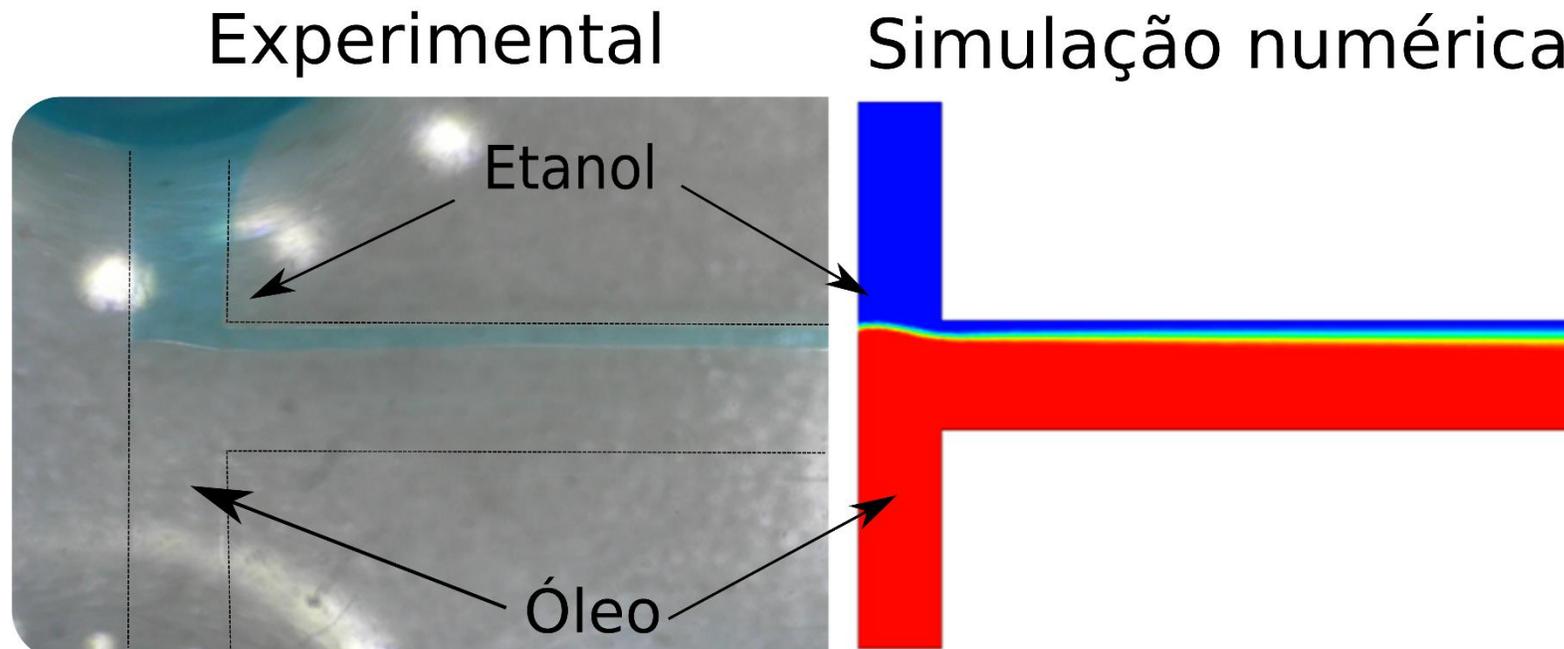


(Adaptado de Nguyen et al. *Advance Drug Delivery Reviews*, v. 65, p. 1403-1419, 2013)



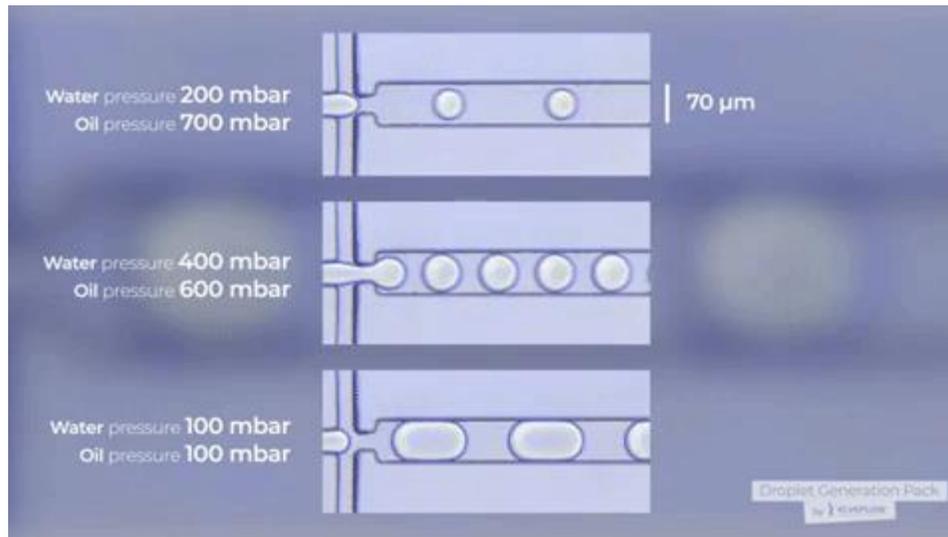
- Menor quantidades de reagentes e amostras;
- Baixo custo de fabricação;
- Área superficial elevada;
- Elevada transferência de calor e massa;
- Escoamento laminar;
- Tempo de reações menores;
- Facilidade de escalonamento

- ❑ Microfluídica - ciência e engenharia de sistemas nos quais o comportamento dos fluidos diferem da teoria convencional de escoamento de fluidos, principalmente devido ao reduzido comprimento de escala do sistema. (Nguyen, N-T., Wereley. S. T. *Fundamentals and applications of microfluidics.*, 2006)

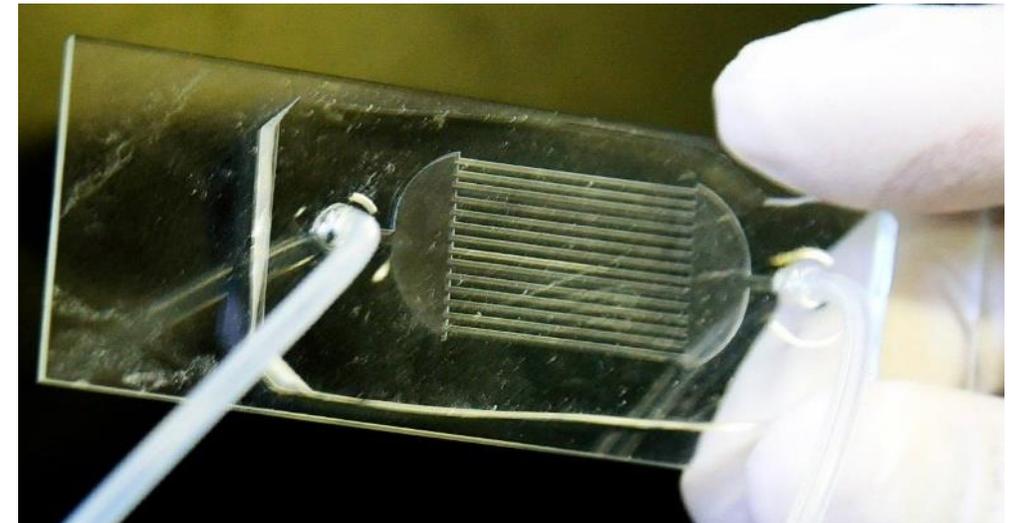


Santana et al. *Chemical Engineering and Processing*, v. 98, p. 137-146, 2015.

- ❑ Microfluídica - ciência e tecnologia que envolve o estudo do comportamento dos fluidos, manipulação controlada de fluidos e o design de dispositivos ou sistemas que possa executar de forma confiável tarefas em microcanais com dimensões típicas de dezenas a centenas de micrômetros. (Lo, R. C. *Chemical Engineering & Process Techniques*, 1:1002, 2013)



Microfluídica de gotas (Droplet Microfluidics). Créditos: Elveflow.

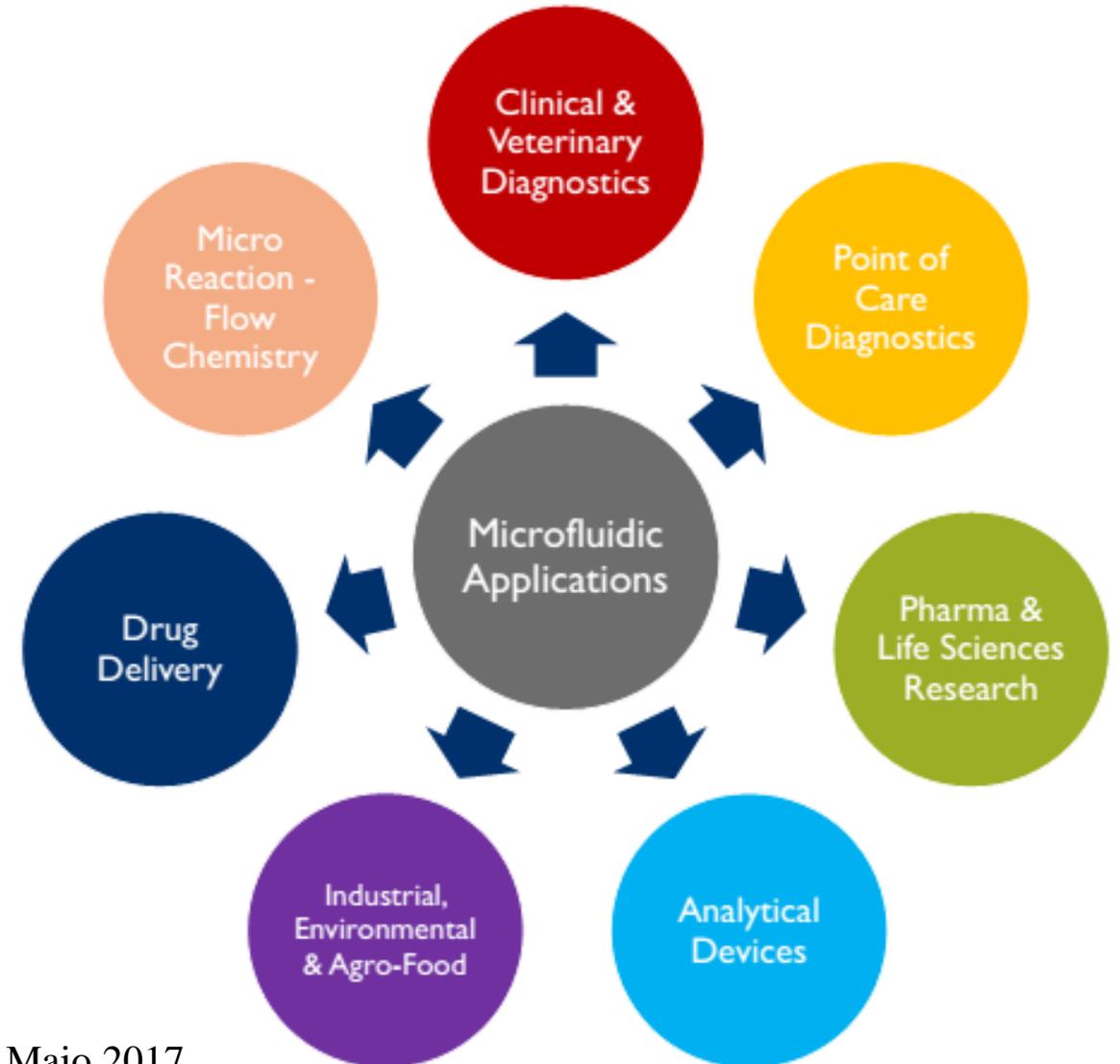


Microdispositivo para purificação de biodiesel.

Santana et al. *Chemical Engineering Research & Design*, v. 124, p. 20-28, 2017.



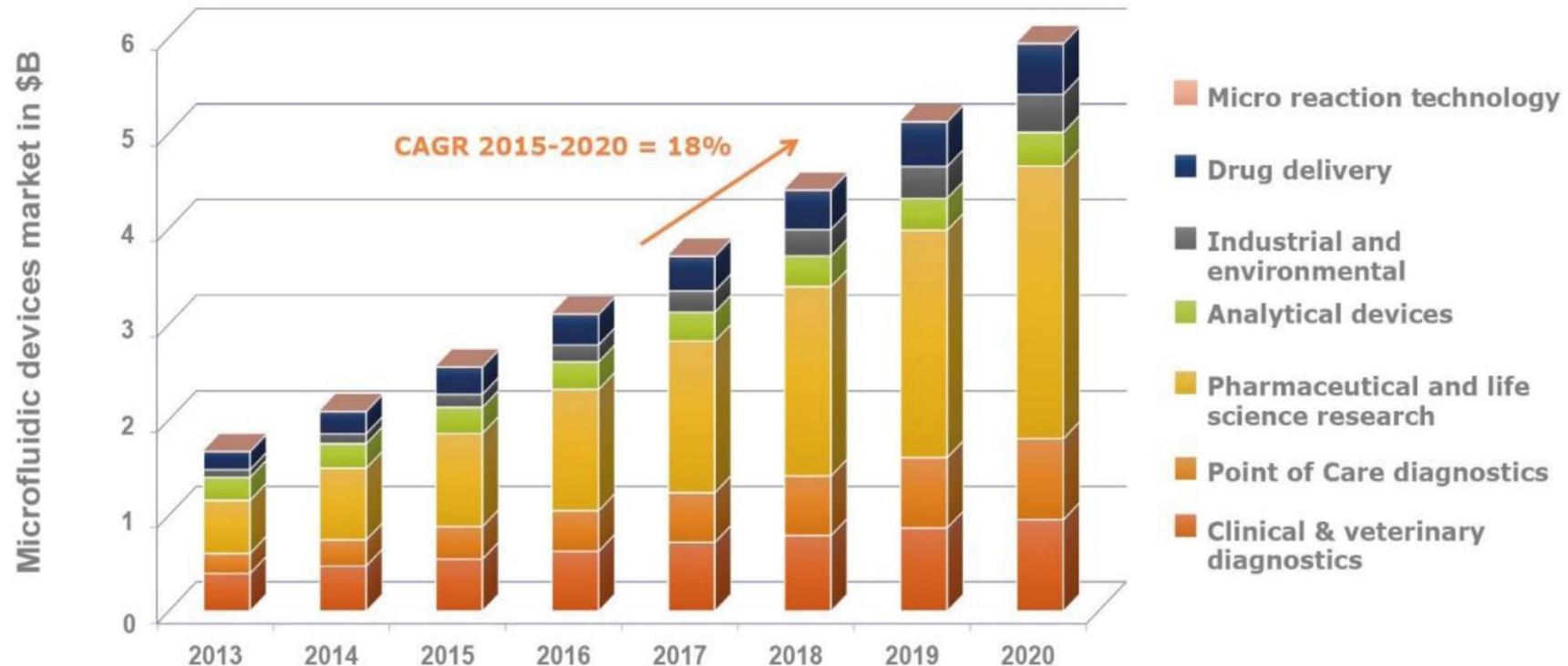
- ✓ Diagnóstico Clínico e Veterinário (*Clinical and Veterinary Diagnostics*)
- ✓ Diagnóstico do ponto de atendimento (*Point-of-Care Diagnostics*)
- ✓ Pesquisa Farmacêutica e Ciências da Vida (*Pharmaceutical and Life Science Research*)
- ✓ Dispositivos analíticos (*Analytical Devices*)
- ✓ Testes Industriais, Ambientais e Agro-Alimentares (*Industrial, Environmental and Agro-Food Testing*)
- ✓ Entrega de medicamentos (*Drug delivery*)
- ✓ Micro Reação - Química de Fluxo (*Micro Reaction – Flow Chemistry*)



Fonte: Yole Développement, Maio 2017.

MICROFLUIDIC DEVICES MARKET IN \$B

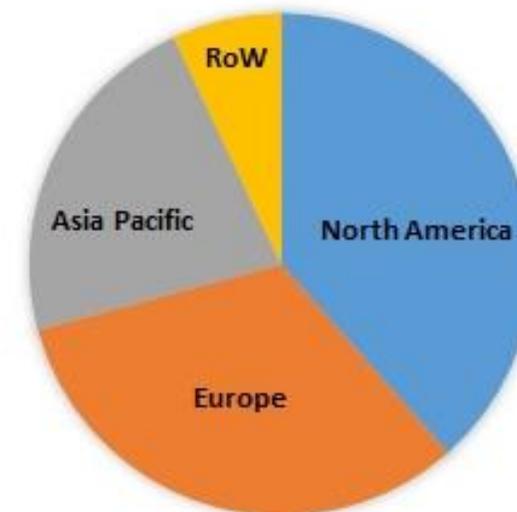
(Source: Microfluidic Applications in the Pharmaceutical, Life Sciences, In-Vitro Diagnostic, and Medical Device Markets report, Yole Développement, June 2015)



Tamanho e previsão do mercado global de dispositivos microfluídicos, 2015 - 2024 (US\$ Bilhões)



Participação de mercado global de dispositivos microfluídicos por região, 2024



Fonte: *Variant Market Research*, Agosto 2017 - <https://goo.gl/atqXWe>

➤ Entender a Microfluídica pode ser um pouco difícil.

✓ Talvez um herói da Marvel possa ajudar!

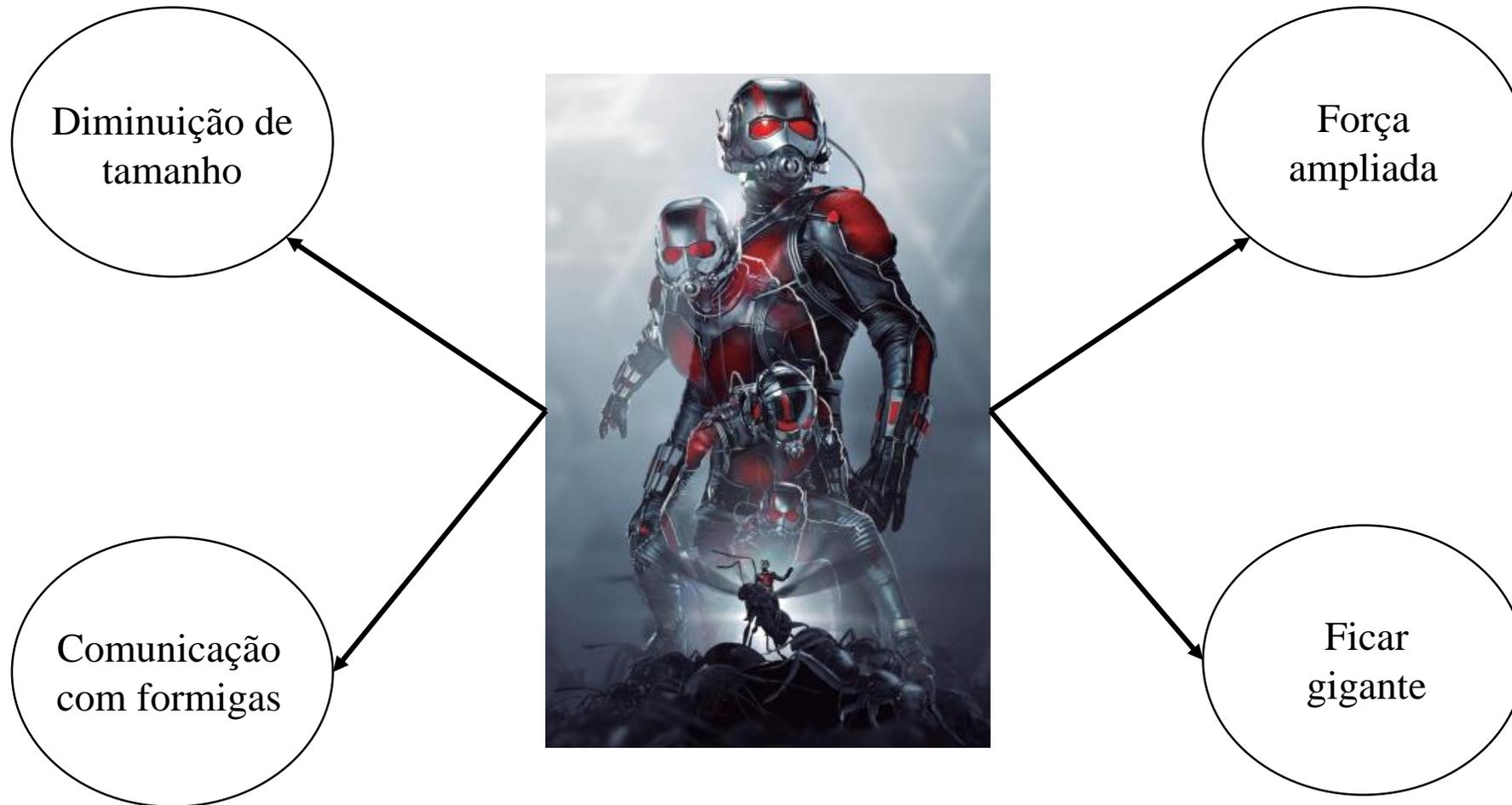
➤ Talvez um herói da Marvel possa ajudar!



➤ Talvez um herói da Marvel possa ajudar – **O Homem-Formiga!**



➤ Os poderes do Homem-Formiga!



➤ Os poderes da Microfluídica!

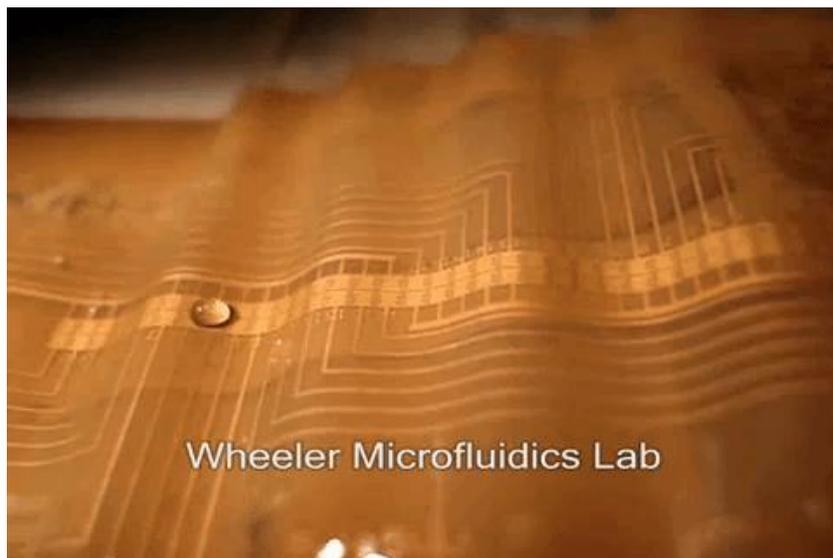
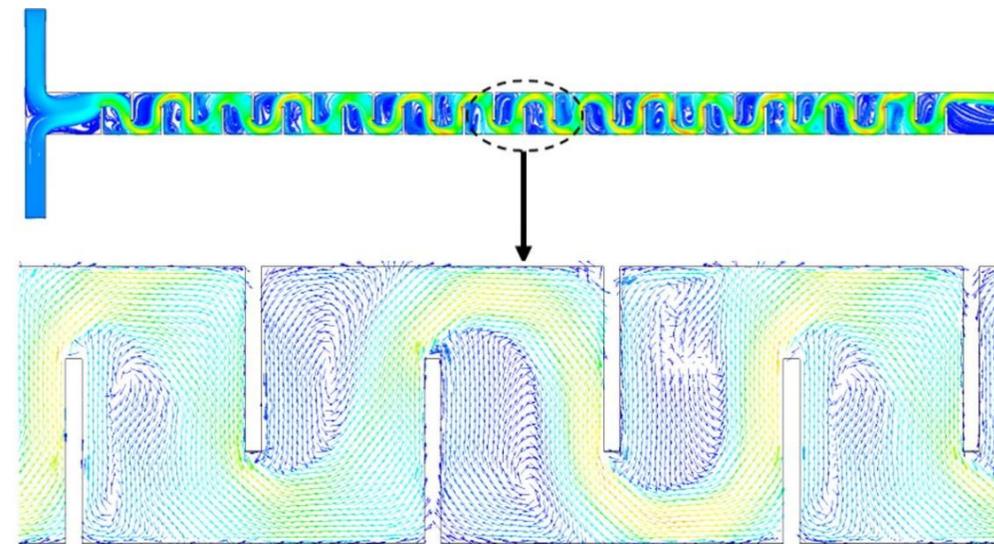
Fabricação
de
microdispositivos

Controle
de
microsistemas



Leis
de
escala

Escalonamento/
Microplantas
químicas



Da validação no laboratório



... para produção industrial

➤ Os poderes da Microfluídica!



□ Processos:

- Fotolitografia;
- Micromoldagem (*micromolding*);
- Gravura (*etching*);
- Microusinagem (*micromachining*);
- Impressão 3D

□ Materiais:

- Vidros;
- Polímeros;
- Cerâmicas;
- Metais

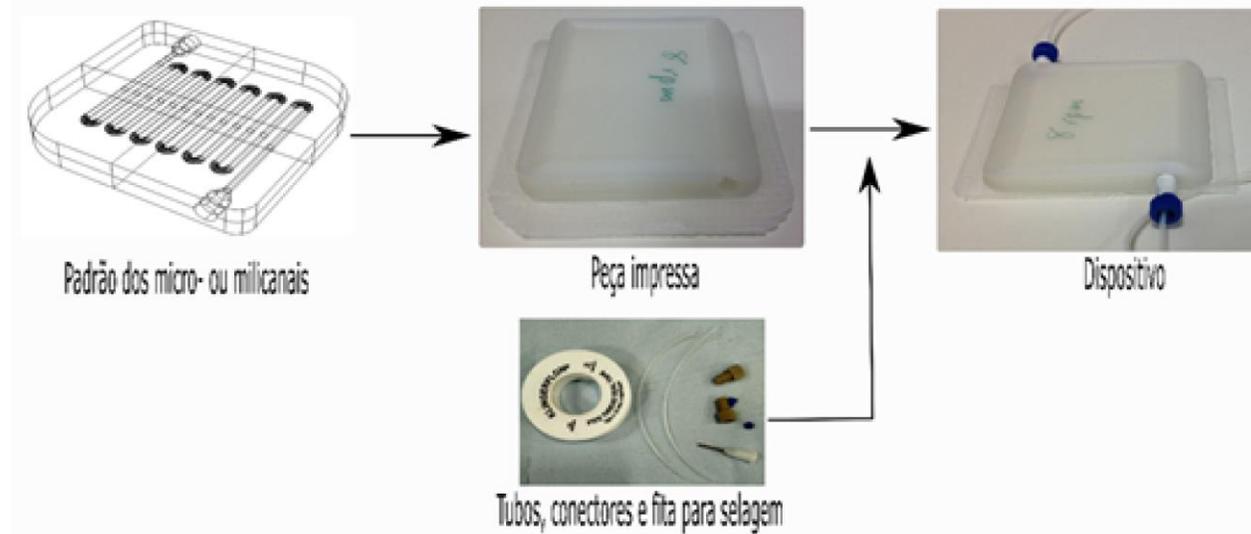
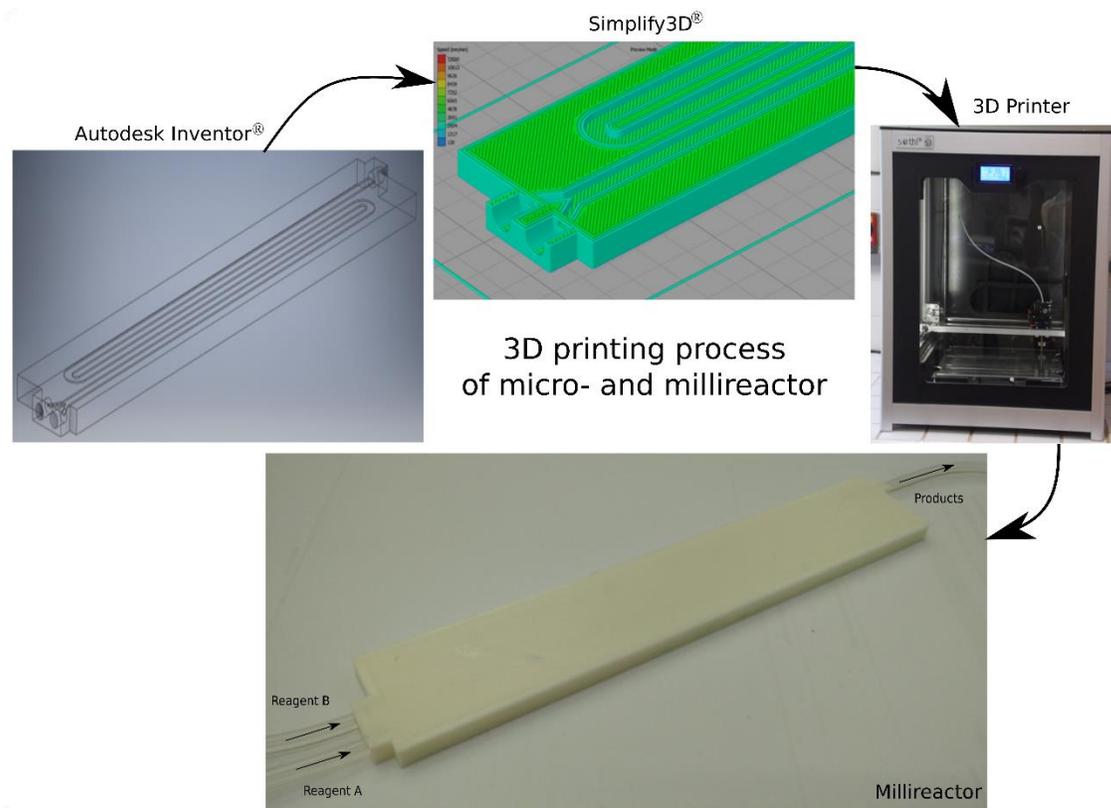


Microdispositivo de polímero – Micromoldagem. Imagem: Santana *et al.* *Chemical Engineering Journal*, v. 302, p. 752-762, 2016)

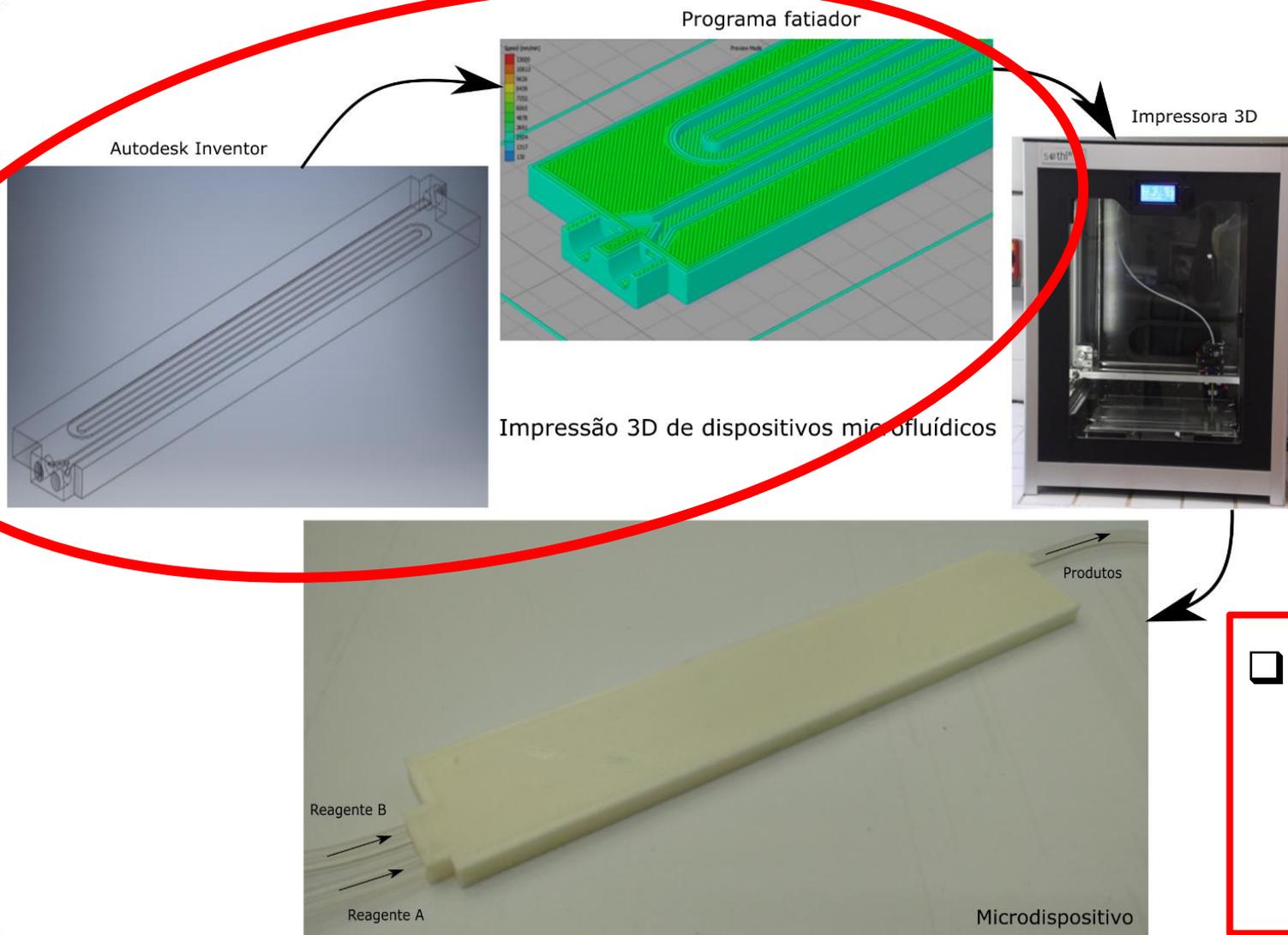


Micro- Milirreatores de metal impresso em 3D. Imagem: Chemtrix

- ❑ A impressão em 3D (ou manufatura aditiva) é uma técnica que fabrica objetos físicos de modelos digitais por processos aditivos através dos quais sucessivas camadas de material são depositadas para produzir o objeto final.



Processo de impressão 3D de micro- milirreatores para reações químicas.
Santana, H.S; Rodrigues, A.C *et al.* 2018 – Submetido.



❑ **Objetivos:**

- Obtenção do modelo digital;
- Código de impressão (*G-code*)

Impressão 3D de Dispositivos Microfluídicos

Obrigado!

Perguntas?

Harrison (*Harrison*) S. Santana

harrison.santana@gmail.com

