

# MEDIDAS DE FLUXO SANGUÍNEO

Seminário de Introdução à Instrumentação Biomédica

Alunos:	André Secco	9289875
	Beatriz Cunha	9391528
	Dennyilson Willian	9290004
	Vivian Tetzner	9289833
	William Dias	5196627

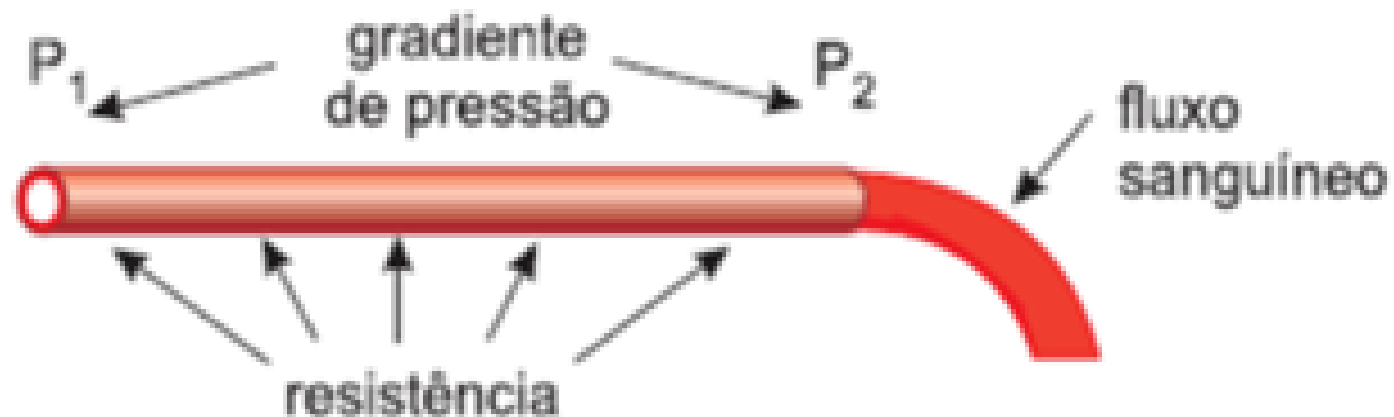
# DEFINIÇÕES

- Sistema circulatório: artérias, arteríolas, capilares, vênulas e veias
- Fluxo sanguíneo: litros por minuto
  - Adulto saudável: 5000 ml/min

# TAXA DE FLUXO SANGUÍNEO

$$Q = (P_2 - P_1) / R$$

- Em que  $Q$  é o fluxo,  $P_1$  e  $P_2$  são as pressões nas extremidades do vaso e  $R$  a resistência vascular.



Vaso	Área de Secção Transversa (cm <sup>2</sup> )
Aorta	2,5
Pequenas artérias	20
Arteriolas	40
Capilares	2.500
Vênulas	250
Pequenas veias	80
Veias cavas	8

# IMPORTÂNCIA DA MEDIDA

- Disfunções vasculares podem ser causadas por:
  - Diabetes,
  - Disfunção renal
  - Envelhecimento
  - Aterosclerose
  - Outras patologias

# CARACTERÍSTICAS IDEAIS PARA O DISPOSITIVO DE MEDIDA

- Não invasivo
- Medir varias partes do corpo em diferentes condições
- Medida abranger todos os elementos vasculares
- Dar condições para monitoramento quantitativo da velocidade
- Não haver limitações de contato, movimento e pressão

# OBJETIVOS

- Explorar dispositivos eletrônicos para medir o fluxo sanguíneo através da temperatura.
- Combinando técnicas de análise térmica, as plataformas utilizadas fornecem rotas de monitoramento quantitativo da velocidade e da direção do fluxo e conseqüentemente do volume com até 2mm de profundidade.

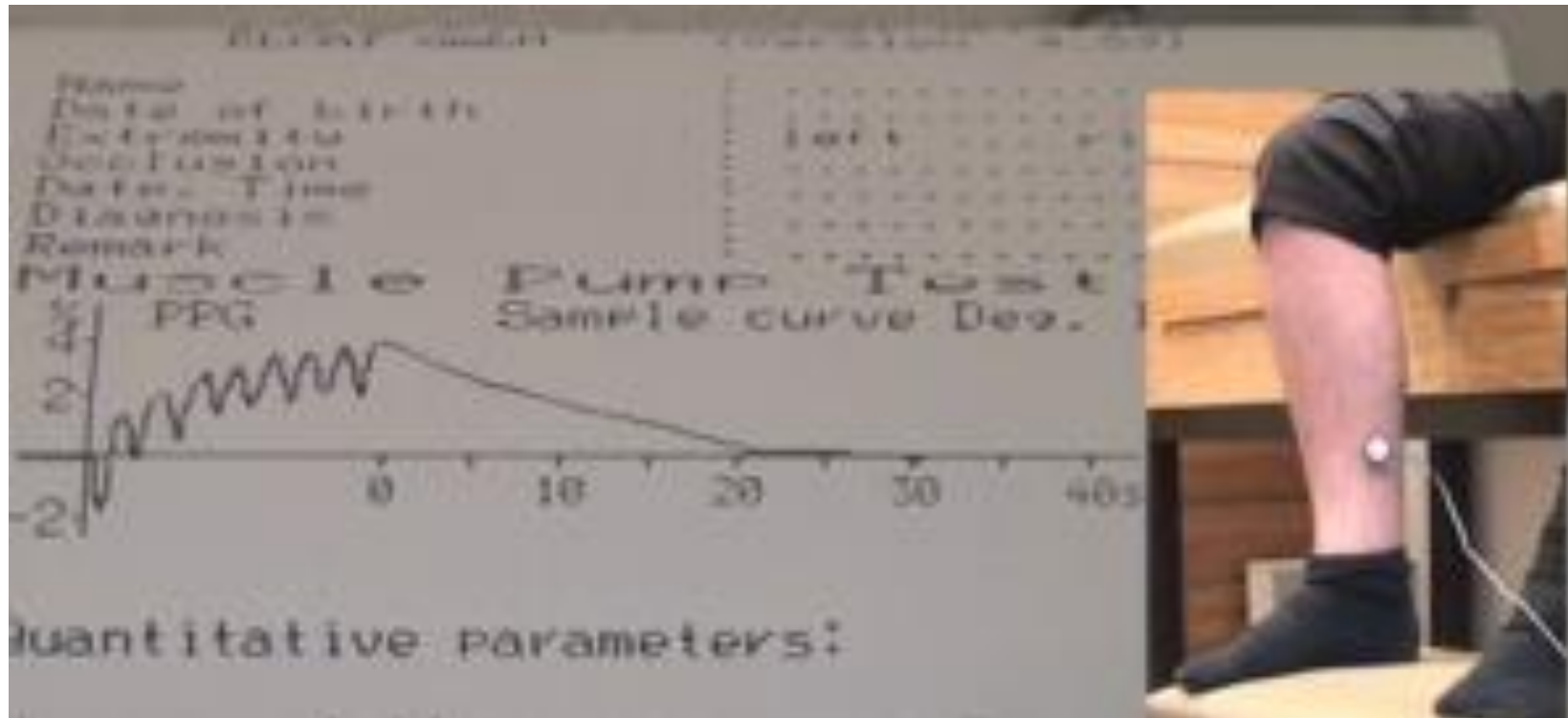
# MÉTODOS UTILIZADOS NORMALMENTE PARA ESTE PROBLEMA CLÍNICO

- Pletismografia Venosa
- Fotopletismografia
- Laser Speckle Contraste de Imagem (LSCI)
- Ultrassom
- Térmica



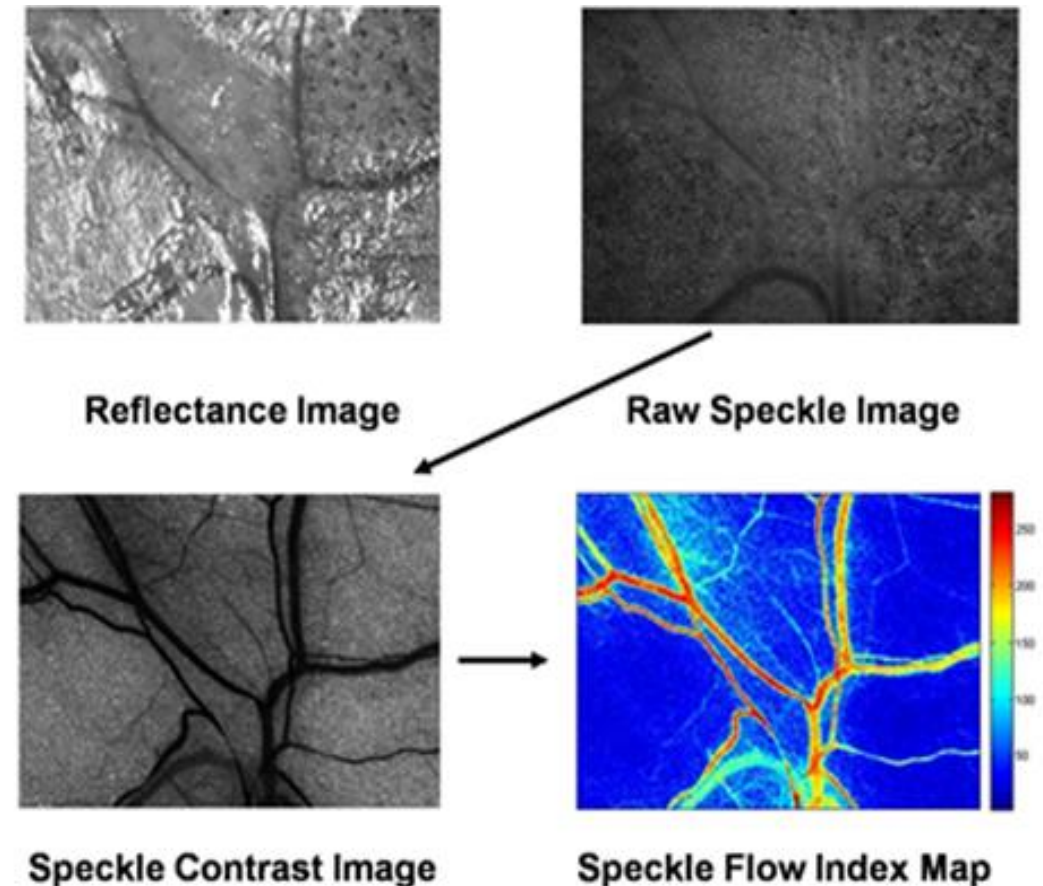
# PLETISMOGRAFIA VENOSA

- As medidas normalmente envolvem medidores de tensão enrolados em torno do membro para quantificar as mudanças dimensionais.



# LASER SPECKLE CONTRASTE DE IMAGEM (LSCI)

- A instrumentação inclui simplesmente um laser para iluminar a superfície do tecido, uma câmera para detecção da luz retro dispersa e a óptica de imagem para focar a luz no sensor da câmera.
- Técnica que necessita de uma câmera DCA (Dispositivo de Carga Acoplada).



## PRÓS

- Os métodos acústicos e ópticos são muito úteis devido sua escalabilidade (capacidade de manipular uma porção crescente de trabalho de forma uniforme, ou estar preparado para crescer).

## CONTRAS

- Imobilização do paciente
- Limita o uso a locais controlados como clínicas e laboratórios.
- Os métodos ópticos podem levar a irritação e desconforto na pele após uma aplicação prolongada.

# TÉCNICAS BASEADAS NO TRANSPORTE TÉRMICO

**MATERIALS SCIENCE/CLINICAL MEDICINE**

## **Epidermal devices for noninvasive, precise, and continuous mapping of macrovascular and microvascular blood flow**

**R. Chad Webb,<sup>1\*</sup> Yinji Ma,<sup>2,3\*</sup> Siddharth Krishnan,<sup>1\*</sup> Yuhang Li,<sup>2,4</sup> Stephen Yoon,<sup>5</sup> Xiaogang Guo,<sup>2,6</sup> Xue Feng,<sup>3</sup> Yan Shi,<sup>2,7</sup> Miles Seidel,<sup>5</sup> Nam Heon Cho,<sup>1</sup> Jonas Kurniawan,<sup>1</sup> James Ahad,<sup>5</sup> Niral Sheth,<sup>5</sup> Joseph Kim,<sup>5</sup> James G. Taylor VI,<sup>8</sup> Tom Darlington,<sup>5</sup> Ken Chang,<sup>5</sup> Weizhong Huang,<sup>9</sup> Joshua Ayers,<sup>1</sup> Alexander Gruebele,<sup>1</sup> Rafal M. Pielak,<sup>10</sup> Marvin J. Slepian,<sup>11</sup> Yonggang Huang,<sup>2</sup> Alexander M. Gorbach,<sup>5</sup> John A. Rogers<sup>1†</sup>**

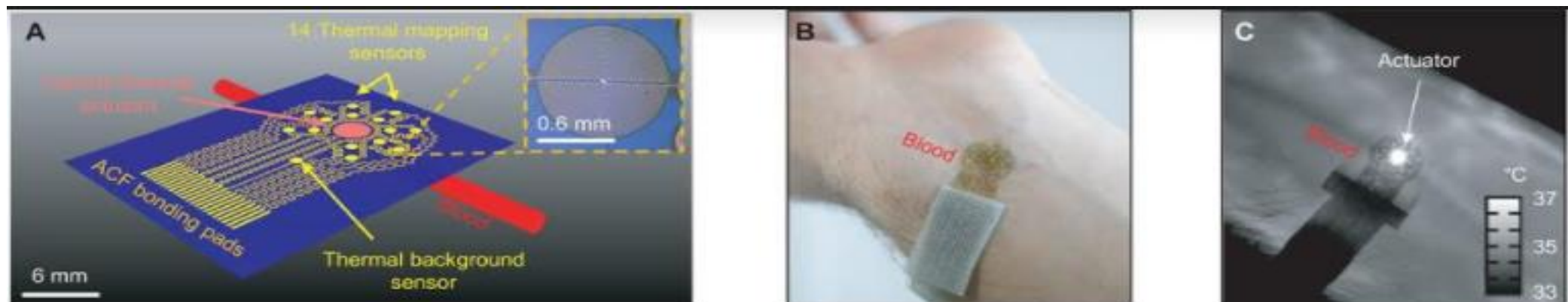
2015 © The Authors, some rights reserved; exclusive licensee American Association for the Advancement of Science. Distributed under a Creative Commons Attribution NonCommercial License 4.0 (CC BY-NC). 10.1126/sciadv.1500701

## DISPOSITIVOS EPIDÉRMICOS PARA MAPEAMENTO NÃO INVASIVO, PRECISO E CONTÍNUO DO FLUXO SANGUÍNEO MACROVASCULAR E MICROVASCULAR

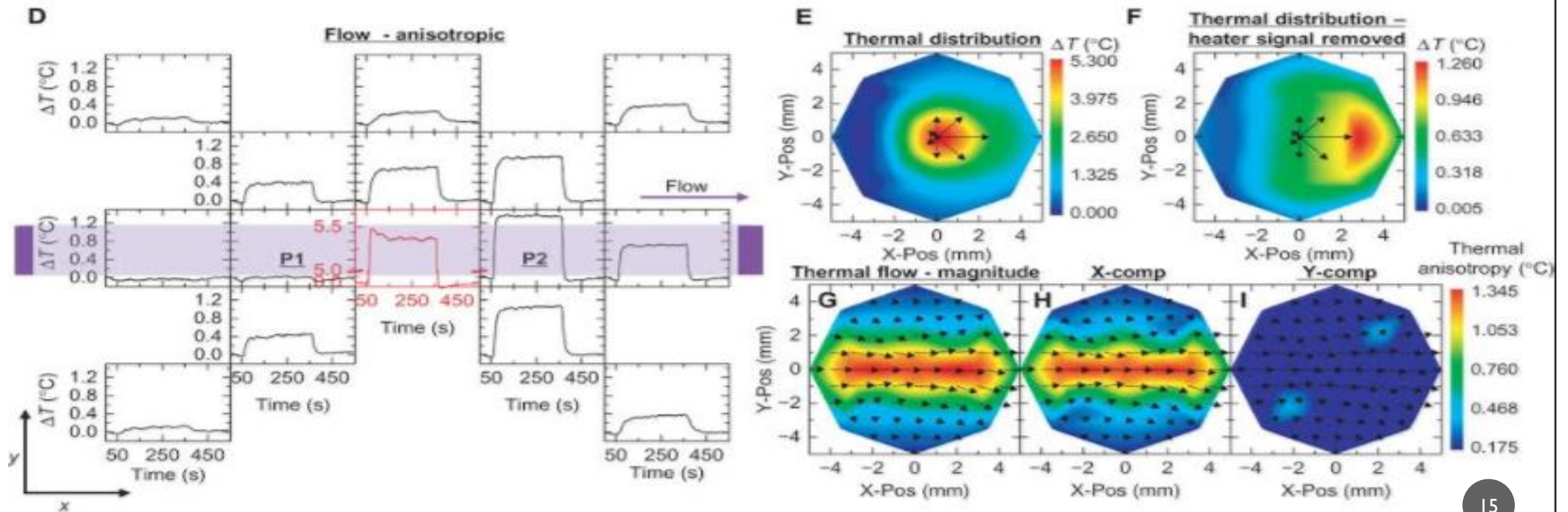
- A técnica utilizada acaba por não conter as limitações anteriores como: contato, movimento, pressão, sendo de possível utilização durante atividades diárias.
- Mecanismos ultrafinos, flexíveis e esticáveis.
- Detectores intimamente ligados com a superfície.
- Capacidade de mapear o fluxo de sanguíneo direcional em grandes vasos subterrâneos (veias).

# DESIGN DO APARELHO E PRINCÍPIOS OPERACIONAIS

- Matriz de sensores térmicos circulando um atuador térmico;
- Sensores na ordem de 100nm para monitorar o fluxo numa área  $\sim 1\text{cm}^2$ ;
- Atuador térmico circular (raio = 1.5mm) composto por um filamento de  $15\mu\text{m}$  de Cr/Au, fornecendo  $\sim 3,5\text{mW}/\text{mm}^2$ ;
- 2 anéis compostos por 7 sensores (Cr/Au) espaçados por um ângulo de 45 graus, com 14 sensores no total.



- Ligações por filamentos ultrafinos, em silicone de baixa modulação, de modo que o dispositivo se conforme à superfície da pele, possibilitando um contato adequado para a obtenção das medidas;
- Os sensores são do tipo resistivo, ou seja, mudam o valor da resistência em função da temperatura, fornecendo uma precisão de  $\sim 0,01^\circ\text{C}$  para uma taxa de amostragem de 2Hz.



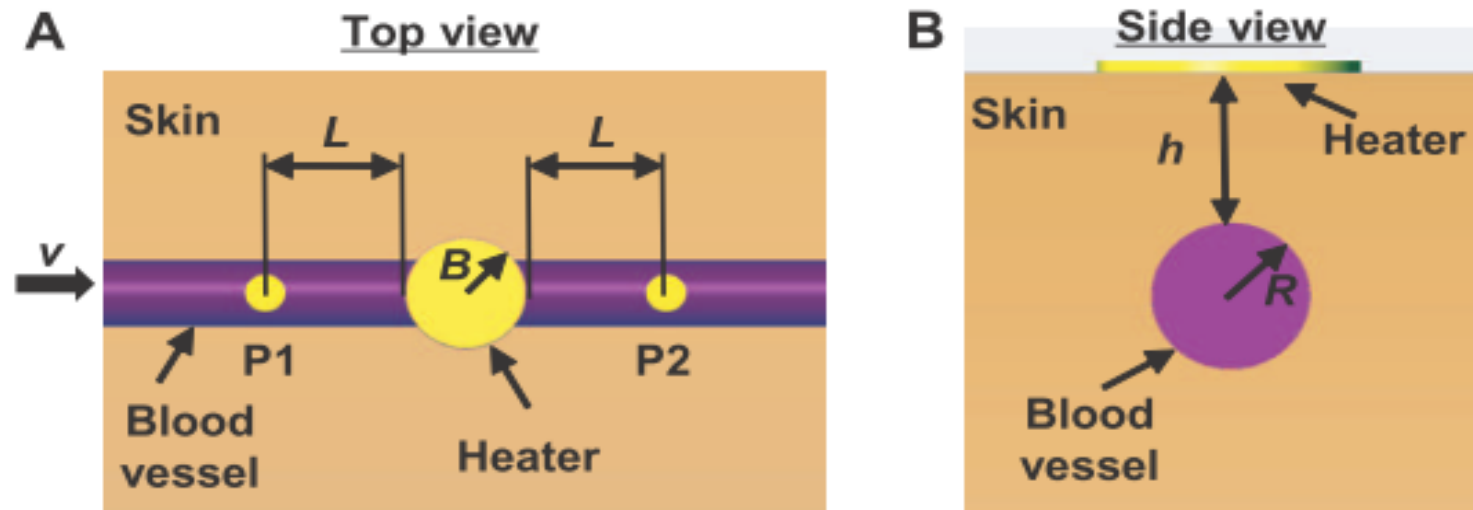
- O fluxo sanguíneo logo abaixo da superfície da pele provoca um fenômeno de transporte térmico anisotrópico, que pode ser quantificado com precisão usando esse sistema;
- O atuador térmico do centro do dispositivo serve como fonte constante de energia térmica, causando um aumento suave e controlado da temperatura na superfície da pele ao redor do vaso;
- As respostas dos sensores determinam as respostas térmicas no espaço e no tempo resultantes deste aquecimento;



- As dimensões do atuador e seus parâmetros são tais que garantem sinais adequados nos sensores circundantes ( $\sim 6^{\circ}\text{C}$  - abaixo do limite para a sensação);
- Nos casos relatados aqui, as respostas se comportam linearmente para temperaturas máximas de  $10^{\circ}\text{C}$ ;
- A direção do fluxo térmico pode ser deduzidas pelos aumentos relativos na temperatura dos sensores nos lados opostos ao atuador

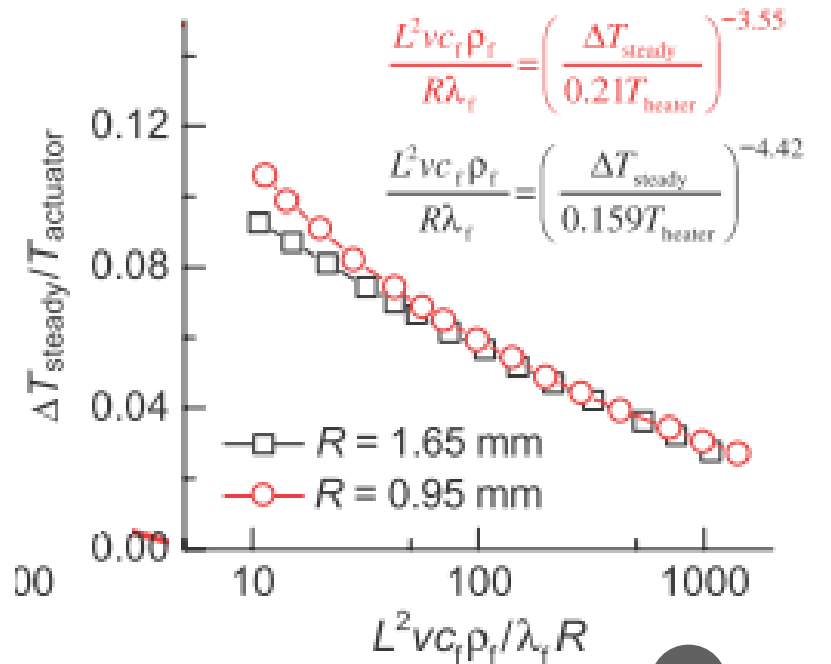
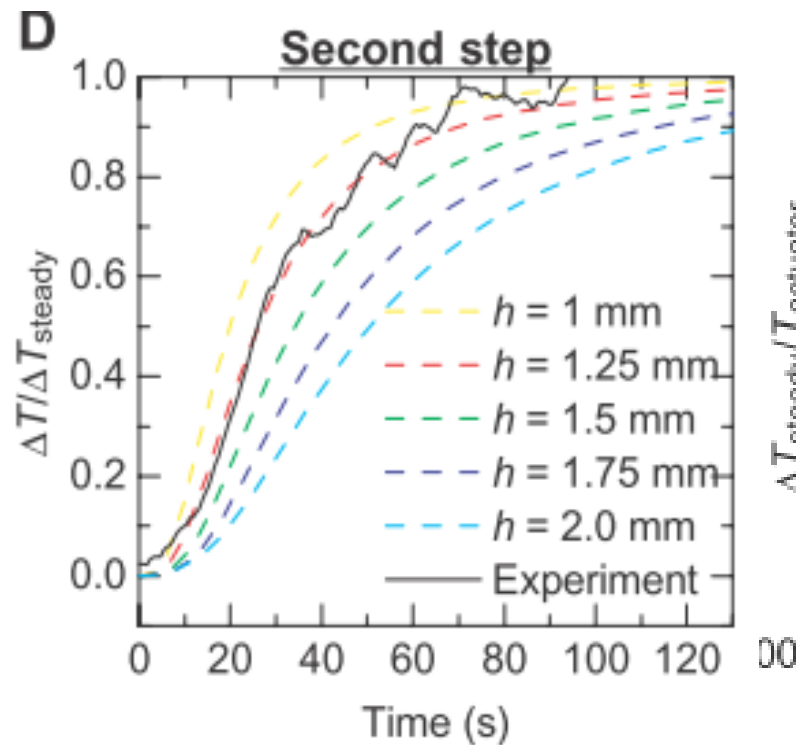
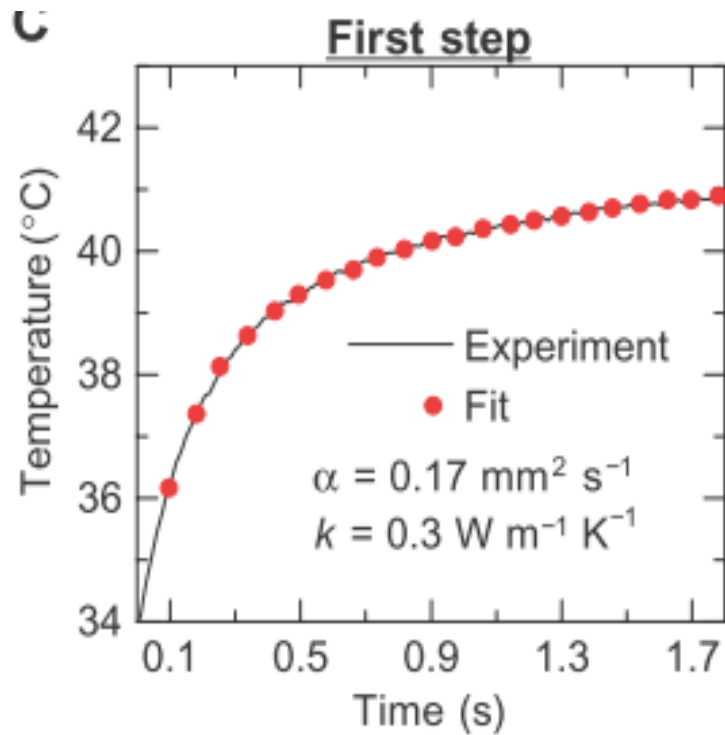
# ANÁLISE E MODELAGEM DO APARELHO

- Taxas quantitativas de fluxo sanguíneo
- Variáveis dependentes do tempo e tecido
- Propriedades térmicas do sangue
- Propriedades dos tecidos e vasos sanguíneos



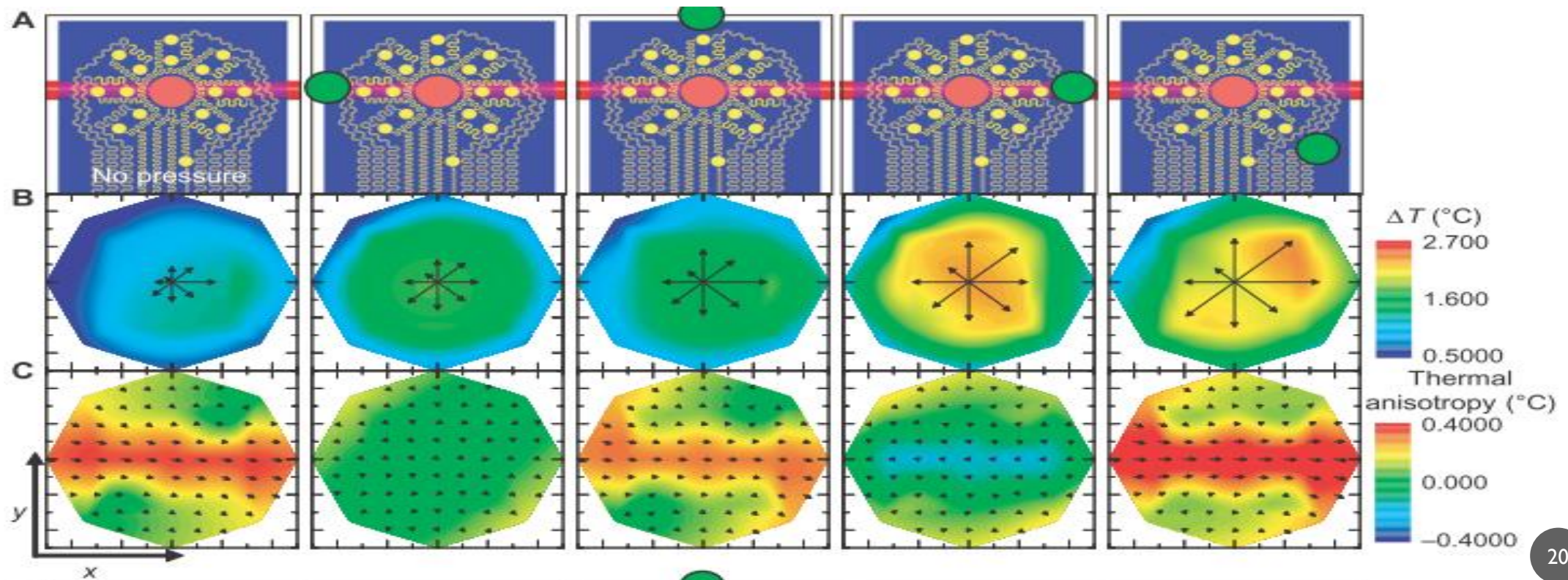
# PASSOS

- Procedimentos para obter condutividade e difusão térmica, profundidade do vaso e mudanças no fluxo sanguíneo.



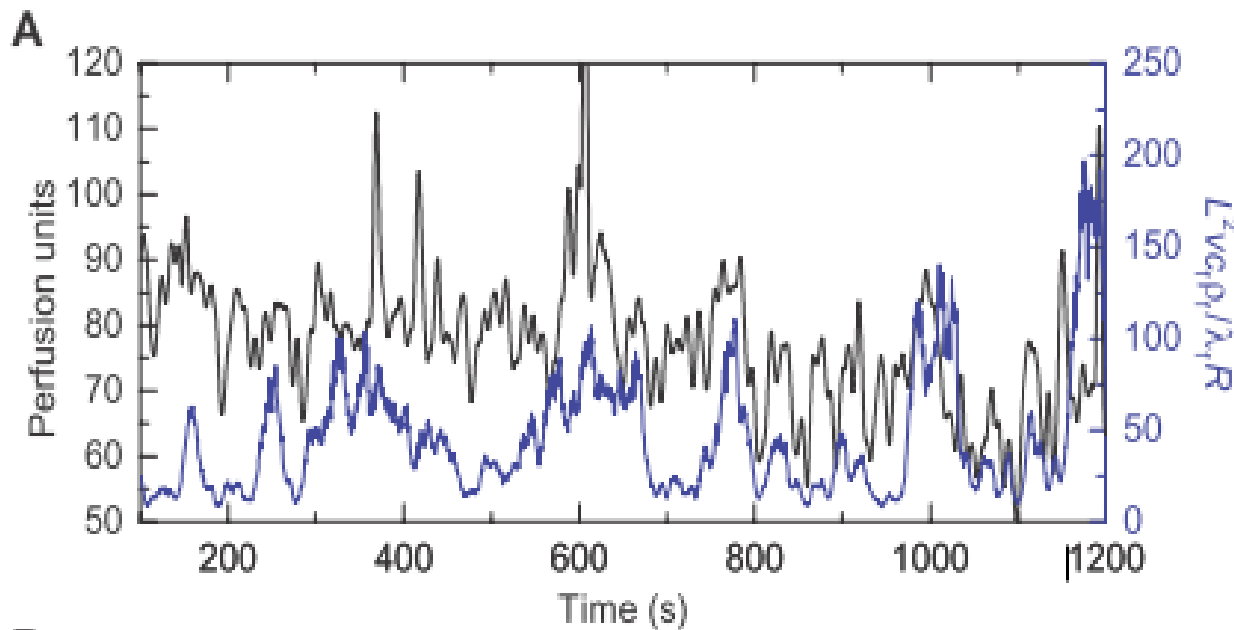
# MEDIDAS DE FLUXO MACROVASCULAR

- Captura de mapas de fluxo térmicos com variação temporal, resultantes de variação de fluxo sanguíneo induzidas por oclusões nos vasos.

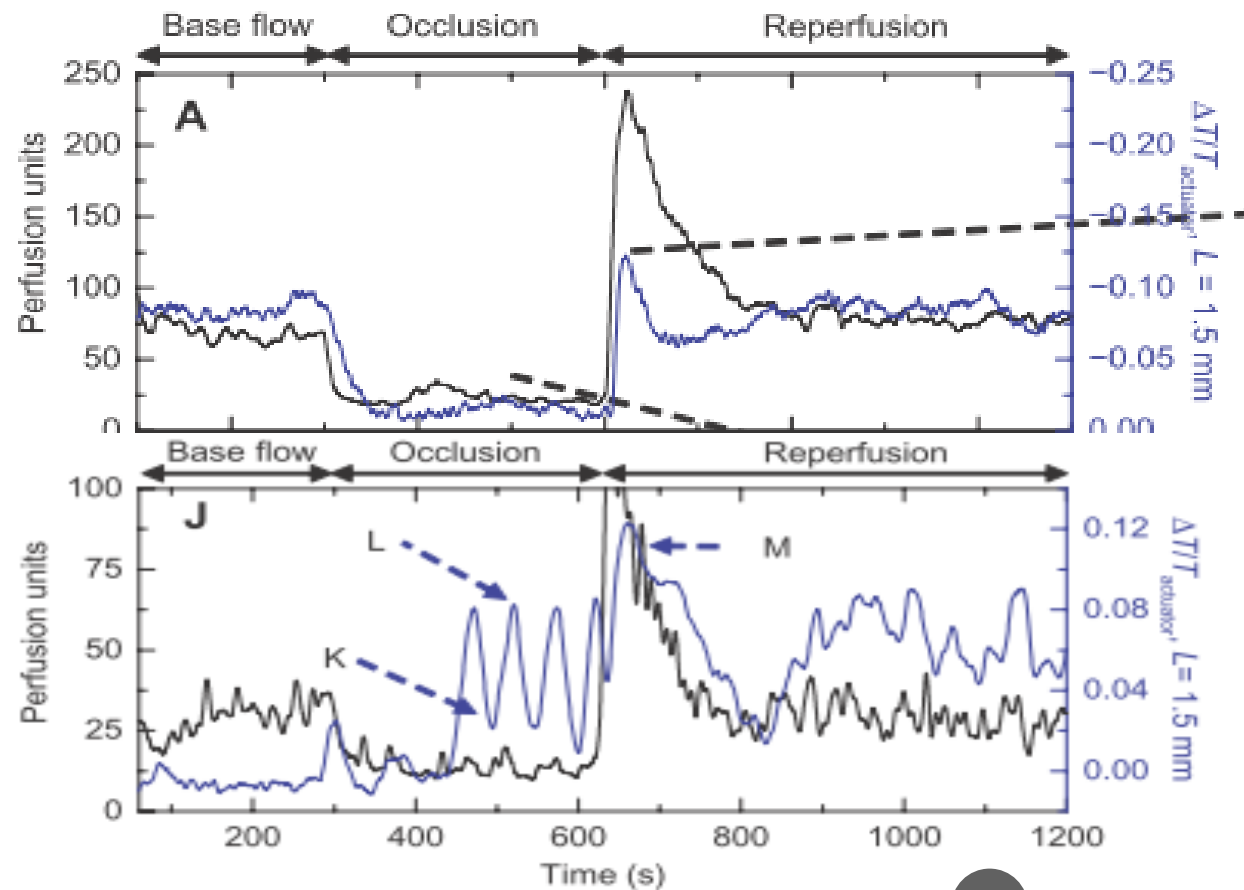


# COMPARAÇÃO COM O LSCI

- Sem estímulo externo

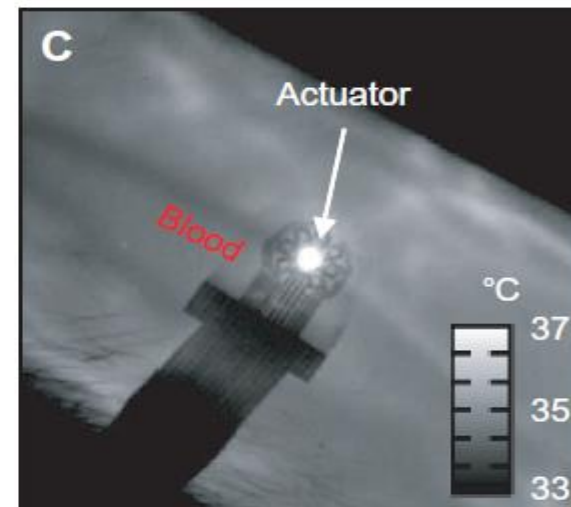
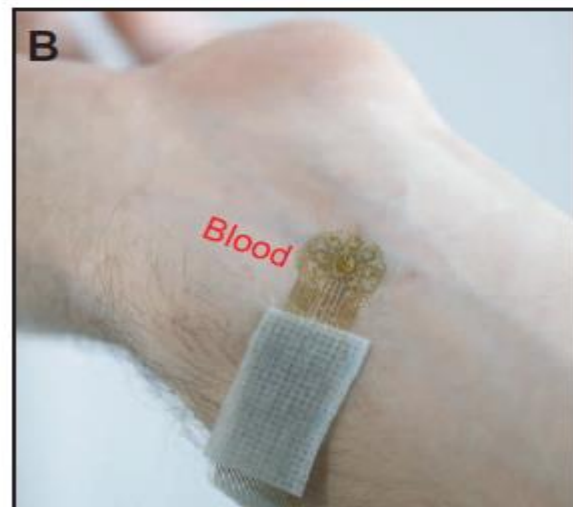


- Com estímulo externo



# PRINCÍPIO FÍSICO

- O fluxo sanguíneo gera um fenômeno de transporte térmico que pode ser bem quantificado usando o sistema apresentado. O ponto atuante provém uma fonte constante térmica para criar variações não abruptas de temperatura, que são bem controlados na superfície da pele, nas vizinhanças do foco. A resposta dos outros sensores determinam as distribuições espaço-temporais de temperatura em consequência do aquecimento.

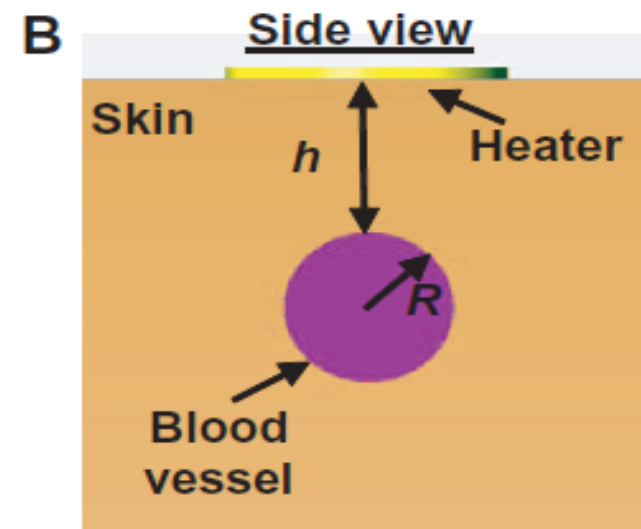
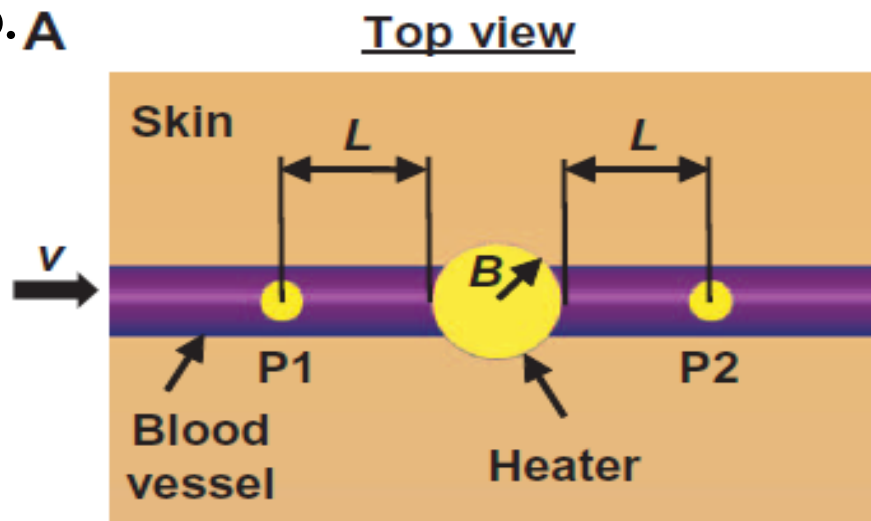


# MODELAGEM MATEMÁTICA

- A conservação de energia para o modelo é dada por:

$$\frac{\partial}{\partial X} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial Y} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial Z} \right) = \rho c v \frac{\partial T}{\partial Z} + \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

- Onde  $\lambda$  é a condutividade térmica,  $c$  é a capacidade calorífica e  $\rho$  a densidade do fluido. **A**



# MODELAGEM MATEMÁTICA

- Solução numérica.
- A análise dimensional, junto com as condições de contorno nos dá a dependência da normalização da temperatura em função da velocidade do fluxo sanguíneo  $v$ , do raio  $R$  e da profundidade  $h$ , bem como em função de outros parâmetros geométricos e do material.

$$\frac{\Delta T}{T_{\text{actuator}}} = g_1 \left( \frac{L^2 v c_f \rho_f}{R \lambda_f}, \frac{R}{L}, \frac{h}{L}; \frac{\lambda_f t}{L^2 \rho_f c_f}, \frac{\lambda_s}{\lambda_f}, \frac{\rho_s c_s}{\rho_f c_f}, \frac{B}{L} \right)$$



# DETERMINAÇÃO DO VOLUME SANGUÍNEO

- Volume = Fluxo\*Tempo
- Se tomarmos um período de tempo infinitesimal entre dois estímulos térmicos:

$$dV = V' \cdot dt$$

$$V = \int_{t_0}^{t_f} V'(t) dt$$

- Como o fluxo é um valor numérico de função, a integração se deve por um método numérico: Método do Trapézio;
- Dessa forma, o somatório do volume em cada instante de tempo fornece o volume total;

# DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE SANGUÍNEA

- Através da fórmula:

$$v = V'/A$$

- Obtemos a velocidade média, e não instantânea, de fluxo sanguíneo entre dois pulsos térmicos;
- Valores de área predeterminados fisiologicamente;

# DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

- O dispositivo apresentado possibilita a medição contínua, não invasiva de fluxo de sangue micro e macrovascular da região da pele;
- Tais características decorrem dos materiais e técnicas que eliminam problemas de movimento relativo atuador detector, minimizam a carga de calor sobre a pele e evitam qualquer efeito negativo de pressão durante as medidas;
- Comparações com equipamentos já consagrados, de arranjos sem mobilidade validam a acurácia das medidas;

- A sensibilidade ao fluxo do dispositivo para vasos específicos dependem de vários parâmetros (profundidade do vaso,, taxa de fluxo, composição dos tecidos circundantes...) e podem ser modificadas alterando a geometria do dispositivo;
- Tendo em mente essas variações e baseados nos experimentos, os limites para detecção são vasos de profundidade de 2mm, taxas de fluxo de 0.1 a 100 mm por segundo e raio mínimo dos vasos de até 0.25mm.
- Esse dispositivo tem em vista ser acessível a baixo custo, produção em grande volume, visando uma ampla faixa de uso, tanto em hospitais, clínicas e uso doméstico

- Aplicações de interesse incluem a monitoração do fluxo de sangue próximo a superfície da pele como indicador da condição vascular, particularmente em doenças como aterosclerose, anemia falciforme, diabetes, doença renal crônica e vasculites;
- Esta tecnologia também é útil para monitoramento contínuo de mudanças micro circulatórias devidas a inflamações induzidas por traumas, exposição ao ambiente (queimaduras de sol), insuficiência vascular, fluxo retrogrado, vasodilatação e vasoconstrição;
- Mais adiante, devido às características de flexibilidade e maleabilidade do dispositivo, se adaptam a uso no interior do organismo, como elemento integrante de dispositivos implantáveis auxiliando cirurgias e outras terapias.