

## **APARELHO INFUSOR DE LÍQUIDO EM EXPANSOR SUBCUTÂNEO**

Raphael Curvello Pizzaia

## **APARELHO INFUSOR DE LÍQUIDO EM EXPANSOR SUBCUTÂNEO**

**Aluno: Raphael Curvello Pizzaia**

**Orientador: Hans Ingo Weber**

**Co-Orientadora: Djenane Cordeiro Pamplona**

Trabalho apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia de Controle e Automação na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

## Agradecimentos

Aos meus orientadores Djenane C. Pamplona e Hans I. Weber, por terem me recebido de braços abertos às atividades científicas e por terem, nesses mais de quatro anos de trabalho, me passado o grande conhecimento que possuem, mais especialmente, por terem me ensinado a caminhar por meus próprios meios através dos caminhos do saber e da busca pela verdade, através da metodologia científica, com rigor pela qualidade.

À minha família que ao longo desses anos me apoiaram, apesar de todos os sacrifícios associados.

À equipe de competição AeroRio por ter ajudado na minha formação prática como engenheiro, em especial agradecimento ao professor Eduardo Costa da Silva por todo o apoio dado para a equipe, assim como pela sua grande humildade e excelência como professor.

“Só sei que nada sei” - Sócrates

## Resumo

Foi desenvolvido e construído um aparelho medidor de pressão interna portátil, com a capacidade de registro de dados, para aplicações na medicina, com a finalidade de auxiliar o médico clínico na aquisição de dados para um posterior estudo do decaimento das pressões em infusões e implantes subcutâneas ao longo do tempo. A exemplo disso as infiltrações em expansores de pele, e o acompanhamento de implantes mamários.

**Palavras-chave: pele, membranas, expansão, borracha, experimental**

## AN AUTONOMOUS INFUSER FOR A SUBCUTANEOUS SKIN EXPANDER

### Abstract

One internal pressure measuring devices, with data recording capability, was developed and built for medical applications, to assist physicians acquiring data for the purpose of studying the pressure decay in subsequent infusions and subcutaneous implants. Such as infiltrations in skin expanders, and monitoring breast implants.

**Keywords:** skin, membrane, expansion, rubber, experimental

**Sumário**

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
a	Processo de Expansão de Pele . . . . .	1
b	Tipos de Válvulas . . . . .	2
c	Processo de Infiltração de Líquido . . . . .	2
d	Desvantagens e Dificuldades do Processo . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Objetivo</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Projeto</b>	<b>5</b>
a	Descrição do Aparato . . . . .	5
b	Metodologia . . . . .	6
c	Desenvolvimento . . . . .	7
d	Design do Aparato . . . . .	7
e	Componentes Eletrônicos da Invenção . . . . .	10
1	Medidor de pressão . . . . .	11
2	Registrador dos dados . . . . .	11
3	Aquisição do tempo . . . . .	11
4	Para suporte elétrico, alimentação . . . . .	11
5	Para registrar a vazão e fazer a infiltração . . . . .	12
6	Interface . . . . .	12
7	Integração . . . . .	12
f	Componentes de Código Programado . . . . .	13
g	Procedimento de Uso . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Descrição dos Ensaios</b>	<b>15</b>
a	Corpos de Prova Utilizados . . . . .	15
b	Bancada Experimental . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>18</b>
	<b>Referências</b>	<b>19</b>

## Lista de Figuras

1	Expansores de Pele . . . . .	1
2	Tipos de Válvulas, (I) incorporada, (II) remota . . . . .	2
3	Aparelho de infusão de líquido . . . . .	5
4	Tampa em ABS (I) finalizada, (II) em processo de acabamento . . . . .	8
5	Tampa montada dentro da maleta . . . . .	8
6	Conector para tomada convencional (I) . . . . .	8
7	Detalhe interno: Botão (I) Liga/Desliga, (II) sensor de pressão, acesso ao cartão MicroSd (III) . . . . .	9
8	Detalhe interno: (I) é a ponta da bomba acoplada no Y, Fig.9, (II) sensor de pressão e (III) é a ponta para o soro . . . . .	9
9	Ligação do expansor ao aparelho: (I) ligação com o bocal de conexão do aparelho ( I) também na Fig. 8), (II) ligação com o sensor de pressão, (III) tubo em Y , (IV) ligação com o expansor de pele . . . . .	9
10	Circuito Integrado, frente (I), verso (II) . . . . .	10
11	Aparelho internamente (I), fonte Bivolt (II), tela Sensível ao toque (III) . . . . .	10
12	Diagrama de Blocos dos componentes . . . . .	11
13	Diagrama de Blocos das Interfaces . . . . .	13
14	Membrana de borracha Carci Band amarela de baixa resistência . . . . .	15
15	Aro(s) (I) de acrílico, (II) de papelão . . . . .	15
16	Bancada de expansão de pele . . . . .	16
17	Expansor cheio . . . . .	16
18	Acompanhamento da expansão . . . . .	17
19	Resultados Médios . . . . .	17

## 1 Introdução

### a Processo de Expansão de Pele

A técnica de expansão da pele tem como objetivo a obtenção de uma quantidade adicional de cobertura cutânea para a utilização em cirurgias reparadoras, ou seja, na recuperação de queimados, reconstrução mamária, retirada de cicatrizes com aparência indesejada [3]. A expansão é um processo fisiológico, definido pela habilidade da pele em aumentar sua área superficial, em resposta a uma deformação imposta. O processo se vale de expansores de pele, Fig. 1, bolsas de silicone, que quando vazias são implantados sob a pele e têm seu volume interno aumentado semanalmente devido à infiltração progressiva de solução salina através de uma válvula, Fig. 2, que via de regra também é implantada sob a pele e está ligada ao expansor através de um tubo de comprimento variável. As formas mais comuns são redondo, retangular e em forma de croissant ou semi-lunar e com volumes que variam de 1 a 1000 centímetros cúbicos.



Figura 1: Expansores de Pele

A escolha pelo cirurgião da forma e do volume de referência, fornecido pelo fabricante, dos expansores depende do local da expansão e da quantidade de pele necessária para a cirurgia reparadora. Um expansor poderia atingir um volume interno superior ao volume estipulado pelo fabricante, porém, a expansão acima de seu volume máximo estipulado, leva ao aumento do risco de vazamento do líquido inserido. Procurando evitar o problema potencial de vazamentos, os médicos utilizam expansores com as maiores dimensões possíveis, ou usam dois ou mais expansores na região. Em qualquer evento, para a segurança no limite de expansão, observamos uma margem de erro considerável na escolha inicial do expansor a ser utilizado. O tamanho do expansor deve ser suficiente para criar as pressões expansivas necessárias e obter o retalho de pele esperado. O preenchimento é considerado seguro, porque a válvula por onde é feito o enchimento é facilmente localizada.



## b Tipos de Válvulas

O expansor pode ser associado com dois tipos de válvulas diferentes, a mais comum que é a interna, ou de preenchimento incorporada, Fig. 2 (I), e a válvula remota, que é externa ao paciente, Fig. 2 (II).

A primeira apresenta uma porta para injeção contendo uma membrana de auto-vedação revestida com um metal ou uma camada de polímero, para prevenir perfurações que atravessem o implante durante a injeção do líquido. Possui um anel limitando o local da porta para injeção que permite a localização sob a pele, entretanto, é requerida uma tatuagem colorida. Este tipo de expansor, devido à rigidez da porta de expansão, pode causar um alto risco de erosão da pele, especialmente se estiver posicionado sobre o osso.

A segunda apresenta a mangueira projetada para fora do paciente, e conta com uma válvula de inserção unidirecional para encaixe rosqueado com a seringa, sua manutenção exige a constante limpeza da região da pele onde a mangueira está inserida, mas simplifica o processo de infiltração do líquido por não exigir a injeção.

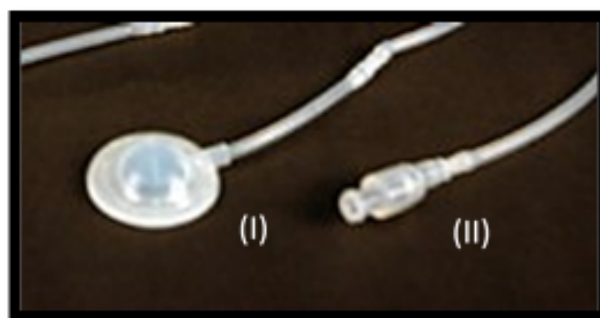


Figura 2: Tipos de Válvulas, (I) incorporada, (II) remota

Para a expansão da pele é realizada uma cirurgia para a implantação do expansor sob a pele do paciente. Durante a cirurgia é inserida no interior do expansor uma solução líquida salina, com um volume de aproximadamente 10% do volume do expansor. Para que se possa iniciar efetivamente o processo de enchimento, após a cirurgia de implante, é necessário um intervalo de 15 dias para a cicatrização do local suturado.

## c Processo de Infiltração de Líquido

A infiltração no expansor faz com que a pele seja submetida a uma certa pressão, pelo aumento de volume do expansor implantado sob ela. O aumento do volume do expansor ocasiona a deformação da pele, aumentando sua área superficial. Sendo a pele visco elástica, após certo tempo ela relaxa e a pressão dentro do expansor decresce e com ela a tensão à qual a pele estava sendo submetida. Esta deformação é mantida constante por um período de tempo (normalmente uma semana), ou seja, é inserida uma quantidade de líquido no interior do expansor e somente após um período de tempo definido pelos médicos é promovida a infiltração de uma nova quantidade de líquido, dando prosseguimento à expansão.

A expansão em locais próximos à deformidade da pele, permite recobrir a parte defeituosa da pele com um material da mesma vizinhança, obtendo cores, texturas, sensações e estruturas similares. A pele expandida pode simplesmente ser avançada ou esticada sobre o defeito por cobertura. A fisiologia da expansão de pele não é somente uma maneira de esticar a pele, mas deformá-la conseguindo uma quantidade adicional que possua todos os atributos da pele original.

#### **d Desvantagens e Dificuldades do Processo**

A maior desvantagem do processo de expansão de pele é requerer dois procedimentos cirúrgicos: implantar e remover o expensor, sendo então realizada a reconstrução ou reparação do local. Além das dificuldades para o processo de expansão periódico ao longo do tratamento:

- O paciente ter de se deslocar semanalmente para o ambulatório, clínica ou hospital para realizar a infiltração, que muitas vezes requer longas viagens periódicas.
- O médico infiltra a pele sem saber qual é a pressão que a mesma está sendo submetida. Podendo até causar necrose por pressões extremas. O cirurgião só conta com o desconforto do paciente e sua própria sensação ao toque para verificar quão distendida está a pele.
- O médico não sabe também qual é a pressão residual na pele antes de começar a nova infiltração algum tempo após a anterior. Pode-se injetar a mesma quantidade de líquido? Infiltrar mais? Infiltrar menos?
- Não existe registro da relação volume infiltrado em relação a pressão interna.

Este projeto dá continuidade às pesquisas anteriores, onde foram obtidos parâmetros elásticos com a equação constitutiva de Delfino visando caracterizar a elasticidade da pele, Pamplona e Carvalho [1], e será muito importante refazer o estudo, considerando outras equações constitutivas e comparar os parâmetros encontrados em diversas regiões do corpo, considerando-se também gênero, idade e raça. Em Pamplona e Mota [2] mostrou-se também a importância do local de expansão para o sucesso da cirurgia, ficando claro que expansões sobre o tecido adiposo não oferecerão a área de retalho esperada para a realização da reconstrução, tendo em vista que parte do volume entrará neste tecido, sem expandir a pele. Pamplona [6] discutiu o procedimento cirúrgico como um todo, abordando os principais pontos do presente projeto.

Entendemos que devido às propriedades visco-elásticas da pele a pressão no interior do expensor cai drasticamente nos primeiros dias e mesmo nas primeiras horas de expansão, esta descontinuidade nos níveis de tensão, durante todo o processo de expansão estudado é a principal razão para repensar o crescimento celular da pele como descrito pelos autores, sendo importante para esta conclusão a quantificação da pressão intra-expensor e seu histórico com o tempo.

## 2 Objetivo

Apresentar o projeto, aparelho infusor de líquido em expansor subcutâneo [4], além de conduzir ensaios que simulam o processo de expansão de pele em uma membrana hiper elástica em bancada, se utilizando para isso dos aparelhos de medição de trabalhos anteriores [4] e [5].

O aparelho é portátil, para aplicações em medicina com capacidade de registrar a relação entre a pressão interna e o volume infiltrado do líquido ao longo da expansão de pele, assim como o acompanhamento da pressão interna ao longo do tempo. Seu sistema semiautomático visa auxiliar o médico clínico no procedimento de expansão de pele, assim como possibilitar que seja feito pelo próprio paciente, seguindo as diretrizes do médico. Permitindo que o paciente em localidades remotas e com acesso deficiente à energia elétrica consiga fazer de forma semiautônoma esse processo, eliminando a necessidade do comparecimento periódico ao ambulatório.

A aquisição dos dados da expansão permitirá vários estudos posteriores: do decaimento das pressões em infusões e implantes subcutâneos ao longo do tempo, permitindo a existência de dados para identificação de parâmetros viscoelásticos para pele humana; da relação entre os limites de infiltração, tipo de expansor e pele à dor do paciente; de otimização de expansores e de implantes, como os mamários, por exemplo.

### 3 Projeto

#### a Descrição do Aparato

O aparato tem um design de fácil transporte e limpeza protegido internamente em uma maleta, que contém todos os acessórios exigidos para sua utilização, Fig. 3. Seu funcionamento conta com uma interface amigável sensível ao toque, visando a utilização tanto do paciente quanto do médico, além disso durante todo o processo de infiltração o usuário conta com o controle de pressão, de vazão e volume máximos, além da capacidade de parar o procedimento a qualquer momento.

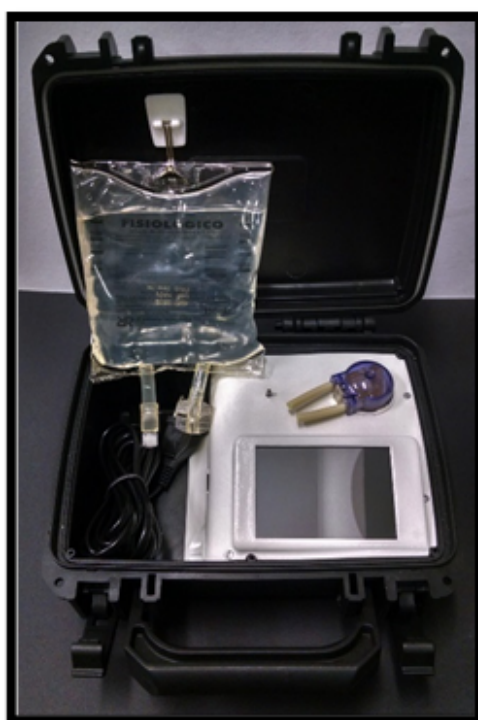


Figura 3: Aparelho de infusão de líquido

O processo é automaticamente interrompido quando a pressão atinge um valor crítico ou quando o volume total de líquido infiltrado é atingido, valores estes prescritos pelo médico. Essas configurações assim como o ajuste de data e hora, portanto, podem ser feitas no aparelho pelo médico e são protegidas por senha. É possível também a utilização da bomba peristáltica para infiltração da tubulação e para a retirada de líquido do expansor, sem controle de pressão e de volume, opções também protegidas por senha.

Mantém registro em cartão de memória de até cinco expansores de pele, que podem ter diferentes localizações no mesmo paciente, além do registro para o acompanhamento da pressão ao longo do tempo. Os dados são gravados separados em respectivos arquivos nomeados “.csv”, relacionando portanto pressão, volume com data e hora.

A invenção é de fácil esterilização, por apresentar uma cabeça de bomba removível e capaz de autoclave,

além de seu funcionamento permitir que não haja contaminação do líquido da infiltração, posto que a bomba peristáltica não entra em contato com o líquido.

## **b Metodologia**

O aparato utiliza conhecimentos em eletrônica e programação de sistemas embarcados, somados às ferramentas de projeto para o desenvolvimento de circuitos eletrônicos, e de modelagem mecânica. Desenvolveu-se um design próprio internamente a uma maleta à prova d'água, que visa portabilidade, segurança e facilidade de manuseio, com as capacidades de aferir a pressão, volume, mostrá-las em interface sensível ao toque, e salvá-las em cartão MicroSd removível, associando data, hora e minuto, para até cinco expansores. Além disso o aparelho é alimentado por bateria de Ion Lithium recarregável, e utiliza um microcontrolador programável.

Em detalhes ele é composto por:

1. Uma peça de design próprio composta por duas partes: uma tampa em plástico ABS, desenvolvida para uma maior portabilidade e conveniência na sua utilização, dimensionado para ser operado internamente a uma maleta; a maleta onde ficam contidos e fixados todos os componentes e a tampa que apresenta as funcionalidades e a interface gráfica para o usuário.
2. Um componente eletrônico integrado com: um sensor de pressão; um contador relógio de hora, minuto, segundo e data com compensação de temperatura e com suporte próprio de energia, do tipo bateria moeda; um módulo leitor e gravador de dados em cartão MicroSd; bateria Ion Lithium de doze volts com circuito BMS (Battery Management System), recarregável; regulador de tensão com filtro de ruído; divisor de tensão para nível da bateria; microcontrolador; display sensível ao toque; botão liga e desliga; conector de tomada convencional; ventoinha; bomba peristáltica associada à uma caixa de redução planetária e um motor de passo; driver de motor de passo; fonte bivolt do tipo colmeia; placa de circuito que integra todos os componentes.
3. Dois componentes de código programado, um no microcontrolador principal e outro no display sensível ao toque, compostos por diversas funções que controlam o aparelho e aquisicionam os dados. Dentre elas as devidas transformações, dos sensores de pressão, tensão elétrica da bateria, e volume de líquido. Além da geração da interface gráfica, leitura e gravação no cartão MicroSd e aquisição da data, hora, minuto e segundo, mais especificamente:
  - (a) Compara as medições com os valores limites para a tensão da bateria avisando por display o nível da mesma;
  - (b) Carrega e salva as configurações do aparelho no cartão MicroSd;
  - (c) O microcontrolador se comunica com o display a fim de controlar a interface gráfica para visualização dos dados, acesso às funcionalidades e configuração;

- (d) Grava os dados adquiridos no cartão MicroSd, pressão, volume, data, hora, minutos, segundos em arquivos independentes (.csv) para cada expansor, com um limite de até cinco. Os dados são somados ao arquivo do expansor respectivo em linhas subsequentes sem sobrescrever as anteriores;
- (e) Controla o motor de passo associado à bomba peristáltica, respeitando os limites máximos de volume, vazão e pressão de operação, configurados pelo médico. Além de permitir o início, parada, e ajuste de velocidade pelo paciente, registra todos os dados ao longo do processo;
- (f) Acompanha a pressão interna do expansor ao longo do tempo e registra no cartão MicroSd. Calibra a medição da pressão subtraindo o valor do momento em que o botão foi pressionado, pelos valores medidos subsequentemente.

### **c Desenvolvimento**

O processo de desenvolvimento do aparelho teve início com a determinação das funcionalidades necessárias junto aos usuários finais, ponderando a capacidade de realizá-las em tempo hábil e orçamento previsto. A partir daí, com os equipamentos adquiridos, começou-se a primeira etapa da prototipagem, sendo desenvolvido o circuito eletrônico paralelamente ao código programado em linguagem C. Ao longo deste processo, uma versão preliminar do aparelho foi desenvolvida e testada em bancada até que se chegasse a uma versão final que atendesse às expectativas. Durante o processo de fabricação apenas a impressão 3D da tampa foi realizada fora da PUC-Rio. A composição do projeto será descrita em detalhes, relacionando seus diversos componentes.

### **d Design do Aparato**

O aparelho foi concebido com o intuito de ser o mais prático possível em relação às suas funcionalidades e em termos de tamanho e peso, para tanto foi desenvolvido um acoplamento interno à uma maleta, de dimensão 9.5x23x18.5 cm, de forma que todos os componentes do aparelho ficassem internamente fixados e protegidos.

Composto pela maleta e tampa interna de plástico ABS impresso em 3D, Fig. 4, desenvolvida para abrigar dentro da maleta todos os componentes do aparelho minimizando o espaço ocupado, Fig. 5. Seu design permite o posicionamento da tela sensível ao toque em ângulo de 15° com a horizontal, facilitando a sua utilização e visualização pelo usuário. A bomba peristáltica fica acoplada na tampa, voltada para a direção do sensor de pressão e do espaço reservado para a bolsa de soro fisiológico, dentro desse espaço o botão de liga e desliga e a saída para o cartão MicroSD estão presentes, a conexão para a tomada está localizada na parte de trás da maleta. Dentro dele há um espaço de sobra onde é possível guardar o cabo de força e uma bolsa de soro fisiológico, além da sobra de mangueira.

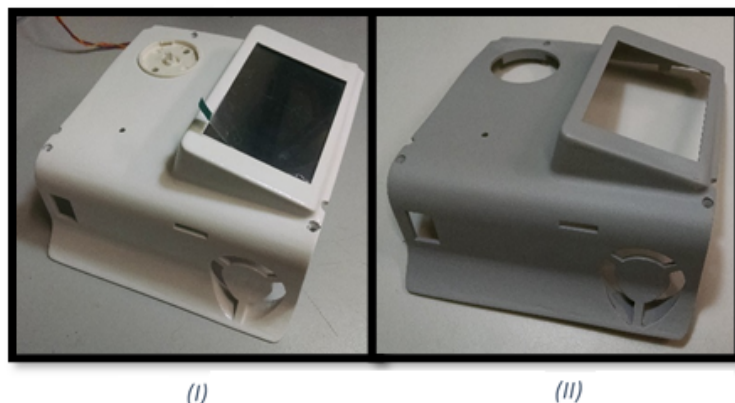


Figura 4: Tapa em ABS (I) finalizada, (II) em processo de acabamento



Figura 5: Tapa montada dentro da maleta

Seu suporte de energia é realizado por fonte bivolt associada a uma bateria recarregável e não removível podendo, portanto, ser utilizado em tomada convencional, Fig. 6, de 110-220V ou pela própria bateria, seu recarregamento é automático quando conectado à tomada e ligado. O cartão MicroSd pode ser retirado, pressionando-o, pela lateral esquerda do aparelho sem prejuízo nos dados gravados, os dados podem, portanto, serem tratados em computador, por planilha Excel, Fig. 7.

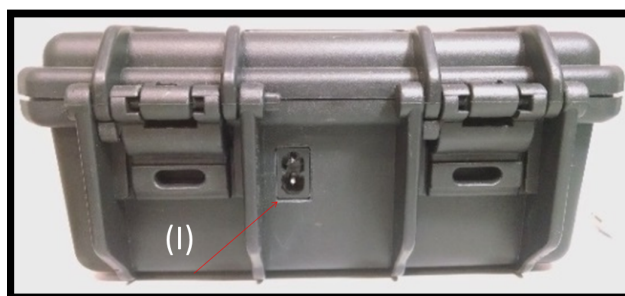


Figura 6: Conector para tomada convencional (I)



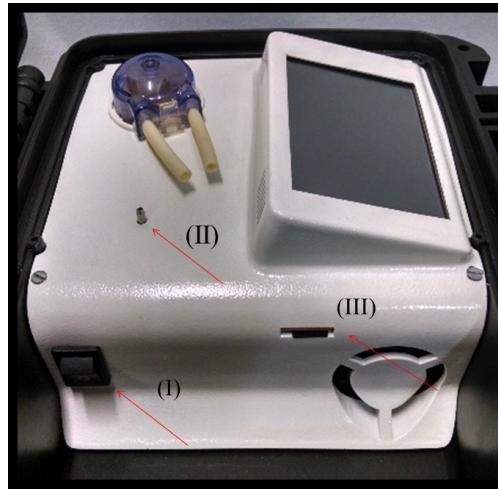


Figura 7: Detalhe interno: Botão (I) Liga/Desliga, (II) sensor de pressão, acesso ao cartão MicroSd (III)

A ponta do sensor de pressão fica exposta na região superior do aparelho, Fig. 8 nele deve ser acoplada uma conexão em Y (aumentada na figura para facilitar visualização), Fig. 9, que liga a saída da bomba peristáltica ao expansor.

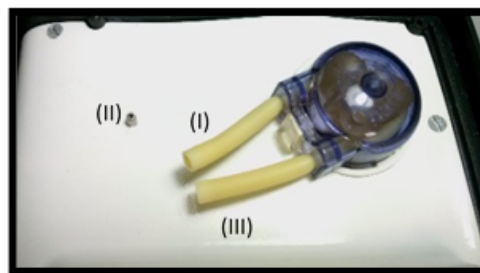


Figura 8: Detalhe interno: (I) é a ponta da bomba acoplada no Y, Fig.9, (II) sensor de pressão e (III) é a ponta para o soro



Figura 9: Ligação do expansor ao aparelho: (I) ligação com o bocal de conexão do aparelho ( I) também na Fig. 8), (II) ligação com o sensor de pressão, (III) tubo em Y, (IV) ligação com o expansor de pele



## e Componentes Eletrônicos da Invenção

Todos os componentes eletrônicos estão integrados em um circuito impresso, tanto soldados ou apenas conectados, como ilustra as Fig.(s) 10 e 11. O circuito está aparafusado no interior da tampa.

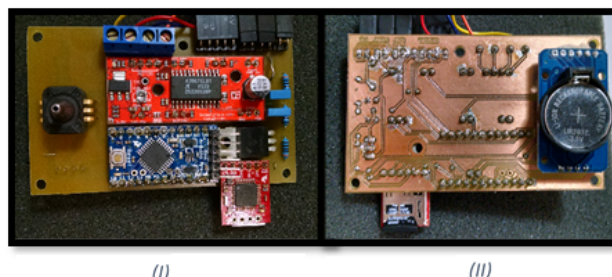


Figura 10: Circuito Integrado, frente (I), verso (II)

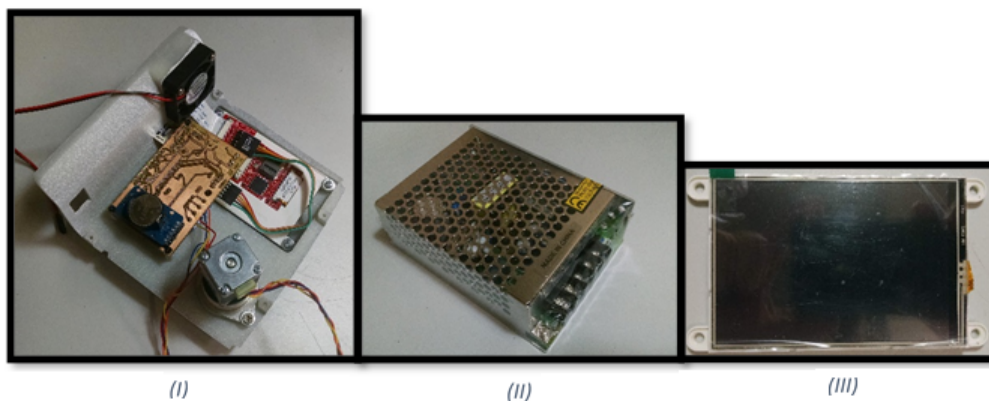


Figura 11: Aparelho internamente (I), fonte Bivolt (II), tela Sensível ao toque (III)

No diagrama de blocos dos componentes Fig. 12, as setas indicam o sentido de comunicação ou ligação entre os componentes do aparelho, e em seguida a descrição mais detalhada, com a referência numérica para cada componente.

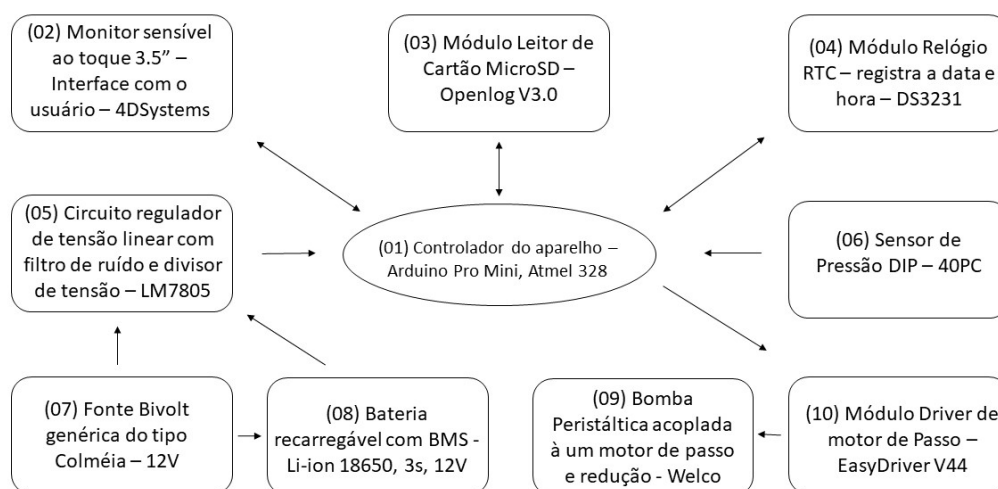


Figura 12: Diagrama de Blocos dos componentes

## 1 Medidor de pressão

- Sensor de pressão do tipo DIP para circuito impresso, 40PC. Utilizado para a medição da pressão interna do líquido sendo infiltrado, Fig. 12 (6);

## 2 Registrador dos dados

- Módulo leitor e gravador de cartão MicroSD, Openlog. Utilizado para o salvamento e leitura de todos dados adquiridos assim como dos valores configurados pelo usuário, Fig. 12 (3);

## 3 Aquisição do tempo

- Módulo relógio contador de hora, minuto, segundo e data com compensação de temperatura e com suporte próprio de energia, do tipo bateria moeda, RTC DS3231. Utilizado para aquisitar a hora e data no momento em que a infiltração é realizada com precisão, sem perde-la quando o aparelho é desligado, Fig. 12 (4);

## 4 Para suporte elétrico, alimentação

- Bateria de Lithium-ion com três células 18650 em série de 12 volts, recarregável, Utilizada para o suporte completo do aparelho na ausência de uma tomada convencional, Fig. 12 (8);

- Circuito BMS (Battery Management System), equilibrador e protetor para até quatro células de Lithium-ion. Utilizado para administrar o recarregamento automático da bateria, Fig. 12 (8);
- Regulador de tensão com filtro de ruído para 5volts, LM7805. Para regular e alimentar os componentes lógicos do aparelho, sensor, controlador, relógio, Fig. 12 (5);
- Divisor de tensão para o nível da bateria, para a leitura do nível da bateria com amostragem em tela, Fig. 12 (5);
- Fonte bivolt para tomada convencional, 12 volts, para suporte do driver de motor de passo assim como para o Regulador de tensão, Fig. 12 (7)(5);
- Conector para tomada convencional, Fig. 12 (7).

## **5 Para registrar a vazão e fazer a infiltração**

- Motor de passo acoplado à bomba peristáltica e redução, capaz de fazer a infiltração de líquido com controle de rotações e portanto do volume inserido, Fig. 12 (9);
- Driver de motor de Passo, EasyDriver, responsável pela comunicação entre o controlador principal, e o motor de passo da bomba peristáltica, Fig. 12 (10)(1)(9);

## **6 Interface**

- Display sensível ao toque com a capacidade para múltiplas interfaces. Componente com programação gráfica própria e comunicação com o controlador principal, Fig. 12 (1)(2);

## **7 Integração**

- Microcontrolador Arduino Pro mini, Atmel 328, módulo controlador para uso genérico. Possui programação própria e é responsável pela administração geral do aparelho, estando nele programado todas as funcionalidades, Fig. 12 (1);

## f Componentes de Código Programado

O software empregado no aparelho é uma composição de dois códigos que comunicam-se entre si: um pertencente ao display sensível ao toque, que permite a exibição gráfica, dos ícones e dados, além do sensoramento da própria tela, Fig. 11 (III); o outro pertence ao microcontrolador principal que está integrado no circuito impresso, Fig. 10, e é responsável pelas funcionalidades gerais do aparelho.

No diagrama de blocos das interfaces, Fig. 13, pertencente ao display as setas indicam o sentido lógico de escolha pelo usuário, permitindo entender o encadeamento da interface em diferentes telas que comandam diferentes funcionalidades do aparelho, e com suas respectivas letras. Em seguida a descrição detalhada com referência às interfaces

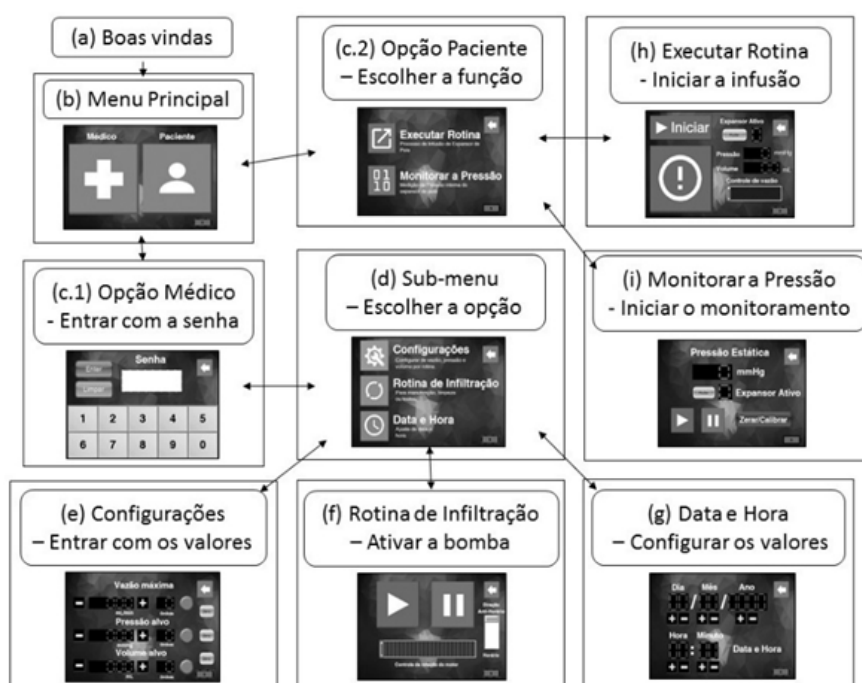


Figura 13: Diagrama de Blocos das Interfaces

Após ligar o aparelho pressionando o botão na lateral esquerda interna da tampa, o mesmo inicializa com um vídeo de saudação, Fig. 13 (a), e exibe a primeira tela de menu (b). Nela pode ser escolhida uma entre as duas opções, médico ou paciente, caso a primeira seja selecionada, uma nova tela aparecerá exigindo uma senha para continuar (c.1), caso a segunda opção seja escolhida, aparecerá subsequentemente as opções do paciente (c.2), permitindo a opção de fazer a infusão padrão (h), ou apenas monitorar a pressão do expansor em (i). Retornando para (c.1), caso a senha seja confirmada serão exibidas opções para configuração e administração do aparelho (d), permitindo que o médico possa ajustar os parâmetros de pressão máxima, volume máximo por infusão, e vazão máxima (e). Além de ter acesso ao controle da bomba peristáltica, para infiltração ou drenagem do líquido na tubulação (f), assim como o ajuste do relógio, (g).

## **g Procedimento de Uso**

O médico ou enfermeiro, após o acoplamento das mangueiras na bolsa de soro, Fig. 8 (III), realiza uma infiltração de líquido para preencher a mangueira com o soro, expulsando o ar interno, pela Fig. 13 (f), mediante senha. Além de configurar em (e) e (g) os parâmetros de trabalho, data e hora do aparelho. Após confirmado que não há ar nas mangueiras, a medida da pressão interna é calibrada em, Fig. 13 (i), e a ponta do Y é acoplada na válvula do expensor de pele, Fig. 9 (IV). A partir daí é escolhido o número do expensor, Fig. 13 (h) e iniciado o processo de infusão de líquido ao apertar o botão iniciar.

A partir do iniciar, o controlador principal, Fig. 12 (1), acionará o driver (10) afim de gerar uma fração de ciclo no motor de passo, rotacionando a bomba peristáltica (9). Para cada fração de ciclo é computada a quantidade de volume infiltrado decorrente da especificação padrão da bomba, além da pressão interna, que são exibidas (2) e gravadas (3). O controle da velocidade do mesmo é dado pela rapidez com que essas frações de ciclos são realizadas (10), sendo o maior valor determinado pela configuração do aparelho, cabendo ao usuário diminuir essa vazão enquanto é feita a infiltração, caso deseje.

O processo é automaticamente parado quando um dos dois pontos de parada são atingidos, o volume máximo ou a pressão máxima. Caso o usuário decida parar pelo botão de pausa, o processo pode ser reiniciado sem prejuízo, entretanto, caso decida retornar para a tela, Fig. 6 (c.2), o processo será encerrado, salvo e seus dados zerados nos mostradores. Os dados serão acrescentados ao arquivo correspondente ao expensor, no caso da não existência o mesmo será criado.

Dois tipos de arquivos serão salvos para cada expensor, um com a evolução ao longo da infiltração e outro com apenas os valores iniciais e finais do processo, mas ambos com os dados da data e hora, pressão interna, e volume.

## 4 Descrição dos Ensaio

### a Corpos de Prova Utilizados

Para a análise experimental foram utilizadas a membrana de borracha da cor amarela, Carci Band de baixa resistência, Fig. 14 . Por virem em tiras de 1,5 m de comprimento de fábrica, foram cortadas na dimensão do aro de acrílico, Fig. 15 (I), com diâmetro externo de 125mm e interno de 98mm, e coladas usando Super-Bonder em aros de papelão nas mesmas dimensões, Fig. 15 (II).



Figura 14: Membrana de borracha Carci Band amarela de baixa resistência

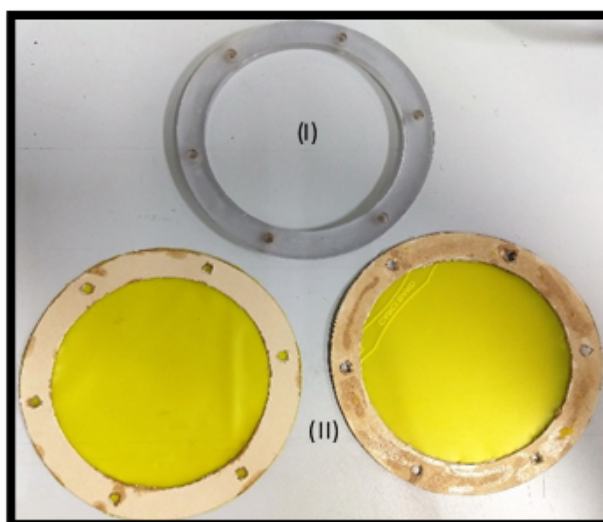


Figura 15: Aro(s) (I) de acrílico, (II) de papelão

## b Bancada Experimental

O corpo de prova é composto pelo aro de papelão com a membrana colada, que é fixada na Bancada de expansão de pele, Fig. 16, pelo forçamento do aro de acrílico que é aparafusado na base da bancada. A bancada possui o formato retangular, e acomoda entre a base e a membrana um expansor de pele do tipo circular de 220 ml de volume nominal, a mesma possui uma válvula remota.

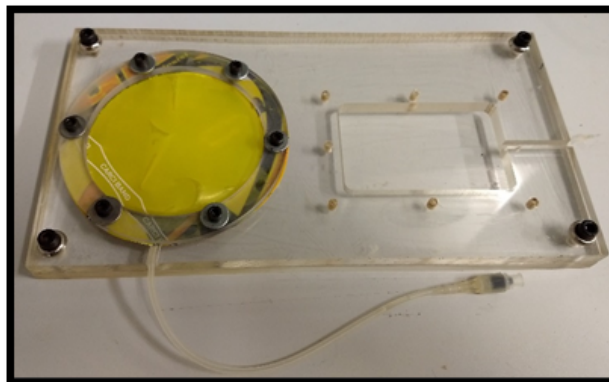


Figura 16: Bancada de expansão de pele

Após o devido preparo da membrana na bancada de ensaio, é inserido previamente ao ensaio 45 ml de líquido no expansor sem acréscimo da pressão, através de uma seringa médica acoplada à válvula remota, a fim de preencher os espaços vazios. Os ensaios então são realizados se utilizando do aparelho infusor de líquido [4] no lugar da seringa, e o processo de expansão é dividido em três etapas que ocorrem em dias diferentes. Sendo cada dia distante aproximadamente de uma semana do outro, portanto é inserido 80ml, 60ml e 60ml, respectivamente, totalizando 245 ml totais, Fig. 17. Ao longo das expansões o aparelho monitora e registra as pressões internas do expansor, e a cada 20ml de infusão de líquido a pressão indicada por esse aparelho é conferida com outro aparelho medidor de pressão interna [5].

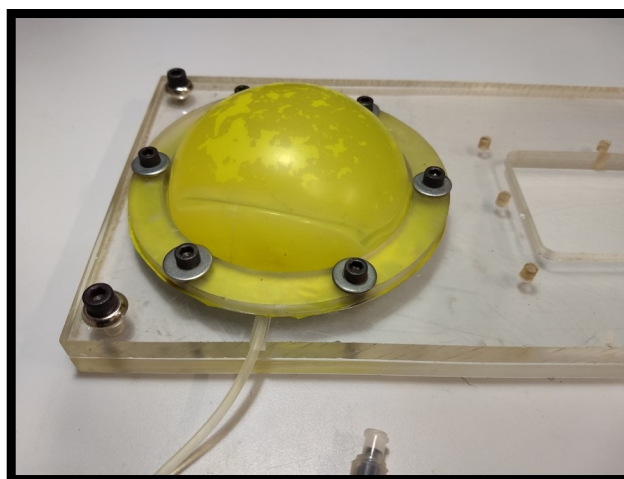


Figura 17: Expansor cheio



## 5 Resultados

A seguir os resultados obtidos em um dos ensaios realizados com o aparelho infusor de líquido, Fig. 18, na qual cada cor representa uma parte do processo de expansão realizado em um determinado dia. É possível notar que o aparelho gera uma quantidade de dados elevada, além de que entre uma expansão e outra existe uma queda da pressão interna do expansor, gerada pelas propriedades viscoelásticas da membrana, com a deformação permanente.

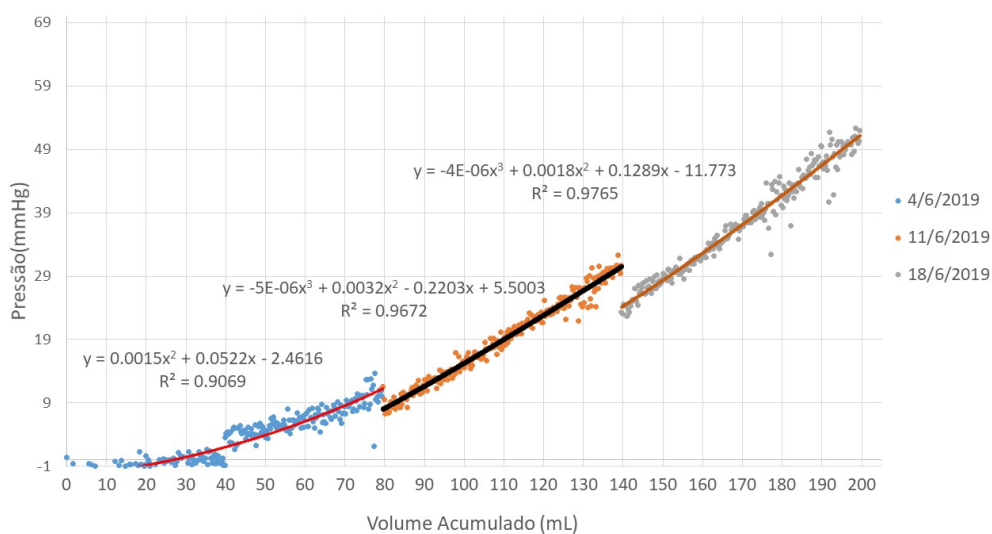


Figura 18: Acompanhamento da expansão

No total foram realizados três ensaios consecutivos utilizando três corpos de provas iguais, e o mesmo expansor na bancada, Fig. 16. Para os três resultados foi gerada uma média final, Fig. 19, que representa a evolução da pressão interna com o volume de líquido inserido no expansor, para a membrana utilizada.

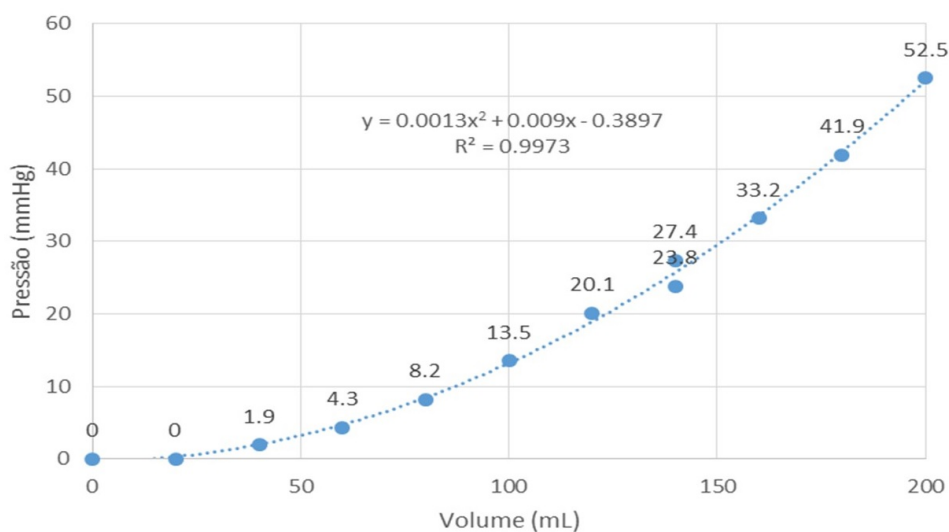


Figura 19: Resultados Médios



## 6 Conclusão

O aparelho permite uma nova forma de realizar o processo de expansão de pele e de coletar dados para estudos médicos e na área da bioengenharia, com precisão, portabilidade e vasta capacidade de armazenamento, além dos três ensaios realizados terem sido bem sucedidos e apresentarem repetibilidade das medições, graças aos métodos de medição utilizando os aparelhos medidores [4] e [5], além da padronização da fabricação dos corpos de prova pelos aros de papelão. O aparelho segue patenteado BR 102017020631-9.

## Referências

- [1] D. C. Pamplona e C. R. Carvalho. "Characterization of human skin through skin expansion". In: *Journal of Mechanics of Materials and Structures* Vol. 7 (2012), pp. 641–655.
- [2] D. C. Pamplona e D. E. J. S. Mota. "Numerical and experimental analysis of inflating a circular hyperelastic membrane over a rigid and elastic foundation". In: *International Journal of Mechanical Sciences* Vol. 65 (2012), pp. 18–23.
- [3] Pitanguy e outros. "Repeated Expansion in Burn Sequela". In: *Burns* Vol. 28 (2002), pp. 494–499.
- [4] D. C. Pamplona e R. C. Pizzaia e H. I. Weber e G. R. Sampaio e H. N. Radwanski. "Um infusor autônomo para um expansor de pele subcutâneo". In: *Revista Brasileira de Cirurgia Plástica* Vol. 33.4 (2018), pp. 562–566.
- [5] D. C. Pamplona e R. C. Pizzaia e H. I. Weber. *APARELHO MEDIDOR DE PRESSÃO INTERNA*. URL: <https://periodicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/IC/article/view/560/591>. (acessado: 16.06.2019).
- [6] D. C. Pamplona e R. Velloso. "On Skin Expansions". In: *Mechanical Behavior of Biomedical Material* Vol. 32 (2012), p. 128.