

Sys. 1965778

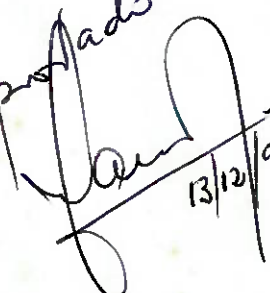
Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica

**Projeto de Máquina para fabricação de Eletrodos Descartáveis
para Eletrocardiograma**

Trabalho de Formatura apresentado
à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção do título
de Graduação em Engenharia

Orientador:
Marco Stipkovic Filho

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica
Projeto e Fabricação

Aprovado

13/12/99

São Paulo
1999

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia Mecânica

PMC - 580
Projeto Mecânico

***Projeto de Máquina para fabricação de Eletrodos
Descartáveis para Eletrocardiograma***

Trabalho de Formatura em Engenharia Mecânica

Ênfase: Projeto e Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Marco Stipkovic Filho

Coordenador: Prof. Dr. Edson Gomes

Fábio Gomes Falcão

nºusp: 1132510

São Paulo

1999

Àqueles que não medem esforços para ver seus sonhos realizados.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais por me darem suporte técnico e emocional durante toda a minha vida acadêmica e à minha namorada Daniela por me apoiar e estimular neste projeto.

Ao orientador Prof. Dr. Marco Stipkovic Filho pela ajuda e pelo esforço em tornar possível este trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Tabelas

Resumo

“Abstract”

1. INTRODUÇÃO **1**

2. ESTUDO DE VIABILIDADE **2**

2.1. ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE **3**

2.2. SÍNTESE DAS NECESSIDADES **3**

2.3. FORMULAÇÃO DO PROJETO **4**

A. ESPECIFICAÇÕES DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS **4**

B. FORMULAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS **5**

B.1. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO FABRICADO (ELETRODO DESCARTÁVEL) **5**

B.2. CARACTERÍSTICAS DA MÁQUINA A SER PROJETADA **6**

2.4. SÍNTESE DE SOLUÇÕES **7**

2.5. RETORNO DO INVESTIMENTO **12**

3. PROJETO BÁSICO **14**

3.1. SELEÇÃO DA MELHOR ALTERNATIVA **15**

3.2. MODELOS ELABORADOS E DESENVOLVIDOS **16**

3.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE **16**

3.4. ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE **17**

3.5. ANÁLISE DA ESTABILIDADE **18**

3.6. OTIMIZAÇÃO FORMAL **19**

3.7. SIMPLIFICAÇÃO DO PROJETO **19**

4. PROJETO DA ESTRUTURA MECÂNICA DA MÁQUINA **21**

4.1. *INTRODUÇÃO* **22**

4.2. *PROJETO DA ESTRUTURA* **22**

4.3. *DEFINIÇÃO DO MATERIAL E FORMA DAS VIGAS* **23**

4.4. *ANÁLISE DE TENSÕES NAS VIGAS* **24**

5. CONCLUSÃO **26**

Referência Bibliográfica

Anexos

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	-	CUSTOS ESTIMADOS DA AUTOMATIZAÇÃO TOTAL DA MÁQUINA.....	10
TABELA 2.2	-	CUSTOS DE ALGUNS DISPOSITIVOS UTILIZADOS NA SOLUÇÃO 5.....	11
TABELA 2.3	-	RETORNO DE INVESTIMENTO.....	13

RESUMO

Os exames de Eletrocardiograma são realizados para avaliar o funcionamento do coração, registrando os impulsos elétricos gerados pelo corpo humano. Para isso, são utilizados alguns instrumentos básicos, tais como um eletrocardiógrafo, papel para impressão dos resultados, fios e eletrodos. Os eletrodos estão em contato com a pele do paciente e sua função é receber os impulsos elétricos do corpo e transmiti-los, através dos fios, para o eletrocardiógrafo, que analisará as informações e imprimirá os resultados em um papel específico.

A proposta deste trabalho é projetar uma máquina que produza eletrodos descartáveis para a finalidade citada acima. Os eletrodos descartáveis possuem algumas vantagens face aos convencionais que são reutilizáveis, tais como maior higiene, praticidade e conforto, além de melhorar a precisão dos resultados.

A máquina projetada fará 28.800 unidades por dia, suprimindo uma demanda existente atualmente no país.

“ABSTRACT”

The electrocardiogram tests are made in order to evaluate the function of the heart, registering the electric pulses generated by the human body. To make the tests, some basic instruments, such as an electrocardiograph, paper to print the results, wires and electrodes are necessarily used. The electrodes are in contact with the skin of the patient and its function is to receive the electric pulses of the body and transmit, through the wires, to the electrocardiograph, which will print the results on a specific paper.

The proposal of this work is to design a machine which produces non-reused electrodes applicable to the problem above. The non-reused electrodes have some advantages, compared to the reused ones, such as more hygiene, easiness and comfort, besides the fact of generating better results.

The designed machine will make 28.800 units a day, supplying the demand of the intern market.

**PROJETO DE MÁQUINA PARA FABRICAÇÃO DE ELETRODOS
DESCARTÁVEIS PARA ELETROCARDIOGRAMA**

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1. Introdução

Os exames de Eletrocardiogramas têm por finalidade avaliar o funcionamento do coração pelo registro gráfico dos impulsos elétricos gerados pelo corpo humano.

Antigamente, a maior parte dos Eletrocardiogramas realizados no Brasil eram feitos utilizando-se eletrodos de ventosas que eram presos à pele do paciente, e um gel líquido para auxiliar a condução.

Atualmente, esta realidade está mudando. Os grandes hospitais e até os Centros de Diagnósticos estão passando a utilizar eletrodos descartáveis nos exames de Eletrocardiogramas.

As principais vantagens desta utilização são:

- Maior higiene para o paciente;
- Praticidade para o enfermeiro na aplicação do exame;
- Maior conforto para o paciente;
- Maior precisão de resultados, pois é um componente que ainda não foi utilizado.

Neste trabalho iremos projetar uma máquina que monte estes eletrodos descartáveis.

**PROJETO DE MÁQUINA PARA FABRICAÇÃO DE ELETRODOS
DESCARTÁVEIS PARA ELETROCARDIOGRAMA**

Capítulo 2

ESTUDO DE VIABILIDADE

- 2.1. ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE
 - 2.2. SÍNTESE DAS NECESSIDADES
 - 2.3. FORMULAÇÃO DO PROJETO
 - 2.4. SÍNTESE DE SOLUÇÕES
 - 2.5. RETORNO DE INVESTIMENTO
-

2. Estudo de Viabilidade

2.1. Estabelecimento da necessidade

A necessidade de fabricação deste item surgiu do fato de existirem, atualmente no país, poucas empresas fabricando-o com alguma qualidade. A maioria dos eletrodos descartáveis utilizados no Brasil são importados e por isso têm um custo muito alto. Com a crise da alta do Dólar em Fevereiro de 1999, os preços dos eletrodos descartáveis subiram muito, tornando inviável seu uso.

A idéia é produzir estes eletrodos em larga escala para cobrir este mercado, com um preço de venda menor e uma grande lucratividade.

2.2. Síntese das necessidades

O projeto da máquina será feito a pedido de uma empresa que atualmente faz a manufatura de papéis para o registro dos eletrocardiogramas e a fabricação do gel de condutibilidade para o uso nos eletrodos convencionais, além de outros produtos que não convém citarmos neste projeto.

Quantificando os valores mencionados acima, o eletrodo importado é vendido a cerca de US\$ 0,12 a unidade, com o valor do Dólar a R\$1,70, resultando num preço entre R\$ 0,20 e R\$ 0,21 a unidade.

Queremos fabricar um eletrodo que possa ser vendido a R\$ 0,17 (US\$ 0,10), ou seja, com um preço cerca de 20% menor do que é vendido atualmente, com mesmas qualidade e estética do importado. Estas são as exigências do projeto.

2.3. Formulação do Projeto

A. Especificações de Características Técnicas:

As especificações da Máquina a ser projetada e construída podem ser subdivididas em características técnicas *funcionais*, *operacionais* e *construtivas*.

As características técnicas *funcionais* são as seguintes:

- Desempenho – produzir os eletrodos descartáveis na velocidade de 1 unidade/segundo, ou seja, 3600 unidades / hora;
- Operadores Demandados – utilizar no máximo dois operadores para a produção dos eletrodos. Seria desejável utilizar apenas uma pessoa como recurso humano. Podem ser necessárias mais uma ou duas pessoas para o set-up da Máquina;
- Segurança – estabilidade e níveis de ruído condizentes com as Normas de Segurança e risco mínimo para o(s) Operador(es).

Definidas as características técnicas *funcionais*, passemos agora para as características *operacionais*:

- Durabilidade – os componentes principais da Máquina devem suportar dois anos, no mínimo, considerando 8 horas de funcionamento diárias;
- Confiabilidade – ausências de falhas conceptivas que interrompam seu funcionamento nos primeiros dois anos de uso.

E finalmente as características *construtivas*:

- Tamanho – A Máquina pode aproveitar uma área livre na fábrica de até 10 m²;

B. Formulação das Características

B.1. Características do produto fabricado (Eletrodo descartável)

O eletrodo será composto por algumas partes básicas. Estas estão listadas abaixo e podem ser visualizadas no desenho do mesmo em escala 3:1 no Anexo A:

- Plástico Rígido ou Liner, onde ficará colado o eletrodo;
- Espuma, que ficará em contato com a pele do paciente e possuirá uma cola especial (que não irrita a pele e permite que o eletrodo seja removido) em um de seus lados. Esta espuma possui um furo passante de 20 mm de diâmetro;

- Gel condutor, que ficará alocado na cavidade cilíndrica formada pelo furo citado acima;
- Espuma ou plástico/papel impressos com o logotipo da empresa e nome do produto;
- Ilhós prensado na espuma ou plástico/papel impressos. Este ilhós fará a transmissão dos impulsos elétricos para o eletrocardiógrafo.

B.2. Características da Máquina a ser projetada

Para que a Máquina possa ser projetada corretamente, separemos as entradas e as saídas ou produtos do sistema:

- *Entradas Desejáveis:*
 - Materiais que compõe o Eletrodo;
 - Energia;
 - Comandos do Operador.
- *Saídas Desejáveis:*
 - Eletrodo descartável. A forma como será feita essa saída, seja em folhas (800 X 600 mm), contendo 240 unidades, em tiras contendo 16 ou menos unidades ou até mesmo na forma unitária, será decidida posteriormente.
- *Entradas Indesejáveis:*
 - Materiais estranhos (ex: poeira);
 - Umidade;

- Comandos inadequados;
- Choques físicos ou térmicos.
- *Saídas Indesejáveis:*
 - Ruídos, Vibrações, Sobras.

2.4. Síntese de Soluções

Após inúmeras idéias e soluções propostas, chegou-se a cinco principais. As quatro primeiras combinam duas das seguintes vertentes: saída do eletrodo em folhas de 240 unidades ou tiras de 16 unidades e a forma de montagem do eletrodo. A Quinta solução envolve processos completamente diferentes e será explicitada mais adiante.

A primeira possibilidade (Solução 1) monta o eletrodo na posição inversa, ou seja, começa a montagem pelo plástico impresso e o ilhós e termina com o plástico rígido. Já a segunda (Solução 2) começa pelo plástico rígido e termina com o plástico impresso e o ilhós, montando-o, portanto, na posição correta. A solução 3 é muito parecida com a Solução 1, porém a saída do eletrodo se dá em tiras contendo 16 unidades. A Solução 4 também é uma adaptação de outra Solução (2) modificando a forma de saída do eletrodo.

Um resumo das quatro primeiras soluções, mostrando como ficam as combinações citadas acima, pode facilitar o entendimento das mesmas:

- Solução 1: Saída em folhas e montagem inversa;

- Solução 2: Saída em folhas e montagem correta;
- Solução 3: Saída em tiras e montagem inversa;
- Solução 4: Saída em tiras e montagem correta.

As soluções 2 e 4 foram logo deixadas de lado pois percebeu-se que a montagem inversa seria muito mais vantajosa para todo o processo. Isso ficou evidente após desenhar o processo da solução 2. Por isso abandonou-se o desenho da solução 4 e temos apenas os desenhos dos processos das soluções 1, 2 e 3. Os esboços dessas soluções se encontram no Anexo B em escala 1:30 e mostram as diferenças entre elas.

A Solução 5 foge completamente das outras quatro, tanto na forma construtiva, quanto na forma de alimentação do sistema. É uma alternativa muito mais simples e que, na verdade, é uma adaptação de alguns dispositivos acoplados a uma estrutura para montar a “Máquina”.

No fluxograma (localizado no Anexo C), podemos perfeitamente entender e idealizar esta solução. Nele estão indicadas entradas e saídas do sistema, processos e equipamentos.

O esboço desta solução também ajuda a visualizar o sistema. Ele encontra-se no Anexo C, em escala 1:30.

A exequibilidade física da solução 1 é muito complicada, porém não impossível. O sincronismo das operações deverá ser muito grande para que o produto final

saia perfeito. Isso poderia requerer ajustes micrométricos da máquina e sensores por toda sua extensão. Os custos disso seriam exorbitantes.

Em contrapartida, a produtividade seria muito boa, embora maior que a exigida no projeto. O valor econômico, apesar de ser um pouco alto, pode ser compensado se a venda do produto for boa e aumentar com o tempo. Esta solução é muito apropriada para a produção de muitas unidades. Ela seria interessante de ser aplicada se o requisitante do projeto quisesse, no futuro, produzir muito mais do que ele quer produzir atualmente. Ela faz cerca de 15 eletrodos por segundo, ou seja, uma produção 15 vezes maior que a pedida pelo projeto, algo que a demanda não conseguiria consumir.

As Soluções 2 e 4 foram descartadas anteriormente, pois a montagem correta do eletrodo seria desvantajosa perante a montagem inversa.

Já a solução 3 mostrou-se suficiente para as exigências de projeto. Além disso, é mais exequível fisicamente e tem um custo relativamente menor.

Em pesquisas junto a projetistas e fabricantes de máquinas semelhantes à nossa, todos informaram que uma máquina dessas deve ser totalmente automatizada ou totalmente manual. Ela não poderia ser semi-automatizada, pois não é uma máquina simples. Em alguns levantamentos juntos a estes mesmos fabricantes, percebemos que alguns componentes extras seriam necessários para a construção desta máquina. Na tabela a seguir, temos os componentes extras, bem como seus custos e quantidades estimados:

Tabela 2.1 - Custos Estimados da Automatização Total da Máquina

Componente	Quant.	Preço Unitário	Preço Total
Unidade CLP (comando eletrônico) para 6 a 8 pontos de controle	2	R\$ 400,00	R\$ 800,00
Motor de passo	1	R\$ 400,00	R\$ 400,00
Driver de controle do motor	1	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Sensores de presença, posição, velocidade e outros	10 - 15	R\$ 100,00 R\$ 200,00	R\$ 1000,00 R\$ 3000,00
Total			R\$ 4500,00

Além disso, programadores teriam que ser contratados para que a máquina fosse colocada em prática (custo em torno de R\$1500,00). Estimando mais R\$ 1.000,00 para alguns eventuais custos extras, o custo desta solução seria incrementado de aproximadamente R\$ 7.000,00, o que não agradou o representante da empresa, obrigando-nos a abandonar as soluções anteriores e partir para uma nova solução.

Surgiu, então a Solução 5, bem mais simples construtivamente que as anteriores e que integra vários dispositivos prontos. Alguns destes dispositivos e seus custos estimados estão na tabela a seguir:

Tabela 2.2 - Custo de alguns dispositivos utilizados na Solução 5

<i>Componente</i>	<i>Quant.</i>	<i>Preço Unitário</i>	<i>Preço Total</i>
Alimentador e Posicionador para fixação do ilhós (mesa vibratória)	2	R\$ 3500,00	R\$ 7000,00
Dosador para o Gel	1	R\$ 3000,00	R\$ 3000,00
<i>Total</i>			<i>R\$ 10000,00</i>

Esta máquina seria controlada pneumáticamente e, portanto, não envolveria um custo tão elevado de controle.

Esta solução mostrou-se de acordo com as exigências de projeto, com um custo razoável (em torno de R\$ 15.000,00 a R\$ 20.000,00) e que contou com a aprovação do dono da empresa. Ela possui como única desvantagem o fato de exigir que o operador monitore o processo constantemente.

Portanto a Solução 5 foi a escolhida para ser levada adiante no projeto.

Levou-se em conta o fato de o projeto ser de uma máquina nova, de um tamanho médio e que requer a utilização de alguns componentes principais, que não serão construídos na empresa, e sim 'comprados' no mercado externo. Embora o recurso financeiro exigido na fabricação da máquina seja

extremamente alto nesta fase, o retorno esperado permite a cobertura destes custos.

2.5. Retorno do Investimento

Calculamos um investimento inicial de R\$ 20.000,00.

A produção diária é de 28.000 eletrodos descartáveis aproximadamente, totalizando 560.000 eletrodos produzidos mensalmente se tomarmos como base 20 dias úteis por mês.

Os eletrodos são vendidos a R\$ 0,17 a unidade, computando um lucro de R\$ 0,02 por unidade.

Apesar de a produção diária ser de mais de 500.000 unidades, o dono da empresa estima que só após 6 meses a demanda seria deste porte. Por isso elaboramos a tabela a seguir (Tabela 3.3) para sabermos em quanto tempo teríamos o retorno de investimento.

Após o quarto mês de produção, o investimento é retornado, e, a partir do sexto mês, a produção gera um lucro mensal de R\$ 11.200,00, mostrando que o investimento é muito proveitoso e gera um retorno muito bom.

Tabela 2.3 - Retorno de Investimento

Mês	Quantidade Vendida Estimada	Lucro (R\$)	Lucro Acumulado (R\$)
1	100.000	2.000,00	2.000,00
2	200.000	4.000,00	6.000,00
3	300.000	6.000,00	12.000,00
4	400.000	8.000,00	20.000,00
5	500.000	10.000,00	30.000,00
6	560.000	11.200,00	41.200,00

**PROJETO DE MÁQUINA PARA FABRICAÇÃO DE ELETRODOS
DESCARTÁVEIS PARA ELETROCARDIOGRAMA**

Capítulo 3

PROJETO BÁSICO

- 3.1. SELEÇÃO DA MELHOR ALTERNATIVA
 - 3.2. MODELOS ELABORADOS E DESENVOLVIDOS
 - 3.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE
 - 3.4. ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE
 - 3.5. ANÁLISE DA ESTABILIDADE
 - 3.6. OTIMIZAÇÃO FORMAL
 - 3.7. SIMPLIFICAÇÃO DO PROJETO
-

3. Projeto Básico

3.1. Seleção da melhor alternativa

Foi escolhida a solução 5, que envolve a integração de dispositivos simples e é controlada pneumáticamente. Nessa fase do projeto, decidiu-se desenvolver apenas essa solução e melhorá-la para que o projeto final seja beneficiado.

Para o projeto desta máquina foram pesquisados alguns materiais que compõem o eletrodo, pois de posse destes conhecimentos, podemos especificar exatamente como será a construção da Máquina.

Na realidade, informações de alguns materiais já haviam sido obtidas quando sugerimos esta solução.

A espuma impressa entrará na Máquina em bobinas de 44 mm de largura e furada. Este furo tem 2 mm de diâmetro para a colocação do ilhós.

A outra espuma entrará na Máquina com um furo passante e já no formato desejado para o eletrodo, num conjunto com a cola especial e o plástico rígido ou o *Liner*, ou seja, a parte inferior do eletrodo está praticamente pronta. O furo e a superfície do *Liner* formam uma cavidade, onde será alocado o gel.

As duas espumas serão agora prensadas à quente, posicionando o ilhós no centro da cavidade na qual está o gel para garantir a uniformidade do eletrodo.

Deve-se, agora, cortar a tira em conjuntos de cinco eletrodos.

3.2. Modelos elaborados e desenvolvidos

Como já foi mencionado acima, temos como modelos da máquina a ser fabricada, dois modelos icônicos. O primeiro é um fluxograma do processo de produção do eletrodo, contendo todas as etapas, entradas e saídas, processos e equipamentos. Se trata, portanto de um modelo bem completo e que consegue definir muito bem como será a linha de produção.

Temos também um desenho esquemático da solução escolhida. Ele nos ajuda a visualizar esta solução fisicamente, com noções de tamanho dos equipamentos e da máquina.

Os dois modelos são suficientes, inicialmente, para o projeto da máquina.

3.3. Análise de Sensibilidade

No caso desta máquina, especificamente, a Análise de Sensibilidade detêm-se apenas a dois parâmetros de entrada que podemos regular:

- a temperatura da prensa à quente, que será ajustada experimentalmente e permanecerá fixa durante o processo inteiro; e

- a velocidade dos filmes de espuma que deverão estar sincronizadas para que, no momento da prensa, o ilhós de um dos filmes de espuma esteja no centro da cavidade do outro. A velocidade dos filmes deverá ser de 26 mm/s , estimando-se 1 (um) segundo de parada para as operações em cada eletrodo.
- Na prensa a quente, o esforço a ser feito nos filmes de espuma contra a mesa deverá ser de 40 kgf numa área de $22,9 \text{ cm}^2$.

A prensa e o corte dos eletrodos serão acionados mecanicamente por um operador no momento em que os dois filmes de espuma estejam posicionados.

3.4. Análise de compatibilidade

Esta etapa é muito importante para este projeto, pois a interação dos diversos dispositivos é de extrema importância.

Primeiramente devemos garantir a compatibilidade funcional do dispositivo de prensa do ilhós, que inclui os dois alimentadores e os dois posicionadores das duas partes do ilhós, e a prensa. Os dois alimentadores devem funcionar sincronizadamente. Esta sintonia não é difícil de ser garantida, uma vez que eles serão praticamente iguais. O pistão pneumático só poderá ser acionado para efetuar a descida do estampo da prensa após as duas partes do ilhós estejam posicionadas.

Em segundo lugar, o sistema de aplicação do gel também deve ser compatível com a alimentação da bobina de espuma/*Liner*, pois a aplicação dele só pode se dar com a tira parada.

Por último, os materiais das duas espumas devem ser compatíveis quimicamente, e devem chegar à prensa no mesmo instante. O processo mais lento ditará a velocidade dos dois filmes de espuma.

Deve-se ressaltar que o operador também precisa ser compatível com a máquina, pois ele irá acionar a prensa térmica e o corte.

Podemos notar que se a compatibilidade dos dispositivos não for obedecida, não há meios de a máquina funcionar corretamente, por isso é necessário analisá-la muito bem para evitar problemas futuros.

3.5. Análise da estabilidade

O sistema é inerentemente estável, exceto pela prensa à quente que deve ser feita a uma temperatura mínima, determinada experimentalmente, de modo que os dois materiais se colem e ao mesmo tempo não aqueça demais o eletrodo, afetando as propriedades físicas e químicas do gel e demorando muito tempo para esfriar.

Portanto devemos garantir a constância desta temperatura tanto em dias quentes como em dias frios.

Pequenas falhas na localização dos furos (no máximo 2 mm) nos filmes de espuma também podem ser aceitas no processo geral.

3.6. Otimização Formal

Neste momento, iremos fixar alguns valores para que o projeto fique bem definido:

- Volume útil do Reservatório de Gel = 9,5 litros, suficientes para “encher” mais de 30.000 unidades. A produção diária está estimada em 28.800 unidades;
- Dimensões do Reservatório Cilíndrico de Gel:
 - Diâmetro = 220 mm
 - Altura Total = 400 mm;
- Força mínima para prensar o ilhós = 100 N;
- O tempo que a prensa térmica deverá permanecer ativa para efetivamente colar os materiais será determinado experimentalmente.

3.7. Simplificação do Projeto

A simplificação do projeto acaba ficando relativamente inútil pois durante sua execução sempre foram observadas simplicidade e estética e várias revisões

eram feitas com o dono da empresa, possibilitando modificações no decorrer das decisões tomadas.

Porém, apesar disso, alguns estudos foram realizados tentando obter simplificações. Estes estudos incluíram visitas a fabricantes de máquinas e consultas a profissionais do setor, que voltaram a ressaltar que uma máquina dessas é complicada de ser projetada e não é possível fazer uma semi-automatização da mesma. No entanto a integração de dispositivos se apresentou como uma solução bastante aceitável.

**PROJETO DE MÁQUINA PARA FABRICAÇÃO DE ELETRODOS
DESCARTÁVEIS PARA ELETROCARDIOGRAMA**

Capítulo 4

**PROJETO DA ESTRUTURA MECÂNICA DA
MÁQUINA**

4.1. INTRODUÇÃO

4.2. PROJETO DA ESTRUTURA

4.3. DEFINIÇÃO DO MATERIAL E FORMA DAS VIGAS

4.4. ANÁLISE DE TENSÕES NAS VIGAS

4. Projeto da Estrutura Mecânica da Máquina

4.1. Introdução

Como a máquina a ser projetada é um conjunto de dispositivos integrados (alimentadores, posicionadores, prensas e outros), a parte mais importante da máquina, do ponto de vista mecânico, a ser projetada é a sua estrutura. Por isso, faremos o projeto dela através do *software* AUTOCAD, de onde poderemos ter uma ótima visualização de como será a máquina.

Através dos dois modelos que temos até agora (fluxograma das operações e desenho esquemático da máquina), temos uma noção do lay-out básico. Precisamos, agora, especificar outros parâmetros que nos ajudarão a definir como será a máquina, tais como material a ser utilizado, tamanho das vigas, posicionamento das operações e garantir que tudo isso funcione de acordo com as requisições do projeto.

4.2. Projeto da Estrutura

Como já foi mencionado acima, utilizamos o AUTOCAD para desenvolver e desenhar toda a estrutura mecânica da máquina. Várias idéias surgiram de outras máquinas com princípios semelhantes que já existiam na empresa, bem como o tipo e tamanho das vigas utilizadas na construção.

Com as idéias e baseado nos modelos que já possuíamos da máquina, foi-se construindo sua estrutura. Vários ajustes e mudanças foram realizadas durante o desenvolvimento e o *software* ajudou bastante na modificação do projeto durante sua concepção.

O projeto foi todo feito utilizando-se uma ferramenta do AUTOCAD chamada AME (Automatic Solid Modeling), uma vez que o desenvolvimento dele foi em 3 dimensões. Este fato dificultou um pouco o desenho, mas facilitou muito a visualização final e as mudanças que foram feitas.

Os resultados do projeto da estrutura estão no Anexo D, com várias vistas da máquina em 3 dimensões e as vistas isométricas. Os desenhos estão em escala 1:30.

4.3. Definição do material e forma das vigas

O material a ser utilizado é o ASTM A-36, que possui uma resistência boa e uma relação custo-benefício excelente. O ASTM A-36 possui, como propriedades mecânicas típicas:

- Máxima tensão normal = 260 Mpa
- Módulo de Elasticidade = 110 Gpa

O preço desse material está em torno de R\$ 2,40 o quilograma e a quantidade estimada para toda a estrutura é aproximadamente 20 metros.

A viga não será maciça. Ela será vazada e composta por duas chapas em forma de 'U', soldadas em alguns pontos de seu comprimento. Desse modo não gastamos muito material e a viga torna-se bastante resistente à esforços e à flexão.

A espessura da chapa será 20 mm e a seção transversal da viga em 'U' terá 4 polegadas de comprimento por 2 polegadas de largura. A viga completa (já soldada) terá 4 polegadas de comprimento por 4 polegadas de largura.

Podemos calcular agora o momento de inércia (I) da viga:

$$I = 725,33 \text{ cm}^4$$

4.4. Análise de tensões nas vigas

De posse das informações acima, podemos agora verificar se a tensão a que estará sujeita a estrutura será inferior à tensão máxima de flexão para o material.

Faremos a verificação apenas no primeiro braço da estrutura, aquele que suportará o peso da bobina de espuma com ilhós.

Estimando o peso da bobina por volta de 300 N, teremos, na seção crítica, um momento de 180 N.m.

Portanto a tensão normal devido à flexão à qual a viga estará sujeita vale 1,24 MPa, muito inferior à máxima tensão admissível do material.

Percebemos que partimos de uma viga bastante resistente para o projeto em questão, ou seja, superdimensionamos o problema. Isso ocorreu pois os custos envolvidos em desenvolver uma estrutura sob medida para a máquina seriam maiores e tornariam o projeto mais oneroso.

Temos a garantia, no entanto, que a estrutura suportará muito bem os esforços a que for submetida.

**PROJETO DE MÁQUINA PARA FABRICAÇÃO DE ELETRODOS
DESCARTÁVEIS PARA ELETROCARDIOGRAMA**

Capítulo 5

CONCLUSÃO

5. Conclusão Final

Este trabalho tinha como objetivo projetar uma máquina completamente nova e inexistente no Brasil até hoje para produzir um elemento de que não se tinha muito conhecimento.

Após várias análises, proposta de várias soluções, escolha de uma delas, e aprimoramentos, chegamos ao ponto do projeto em que necessitamos do apoio financeiro para prosseguir. No entanto, percebo que o objetivo foi atingido e que a qualidade do projeto foi de alto nível.

Como Trabalho de Graduação, acho que este projeto permitiu a utilização de vários conceitos obtidos durante a vida acadêmica e possibilitou que a criatividade fosse colocada em prática em muitas situações. A formação em Engenharia Mecânica fornecida pela Universidade resultou num projeto inovador e que pode gerar um retorno bastante lucrativo.

Embora de posse de muitos conhecimentos, o projeto possibilitou mais aprendizado prático, que será muito útil num futuro não tão distante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

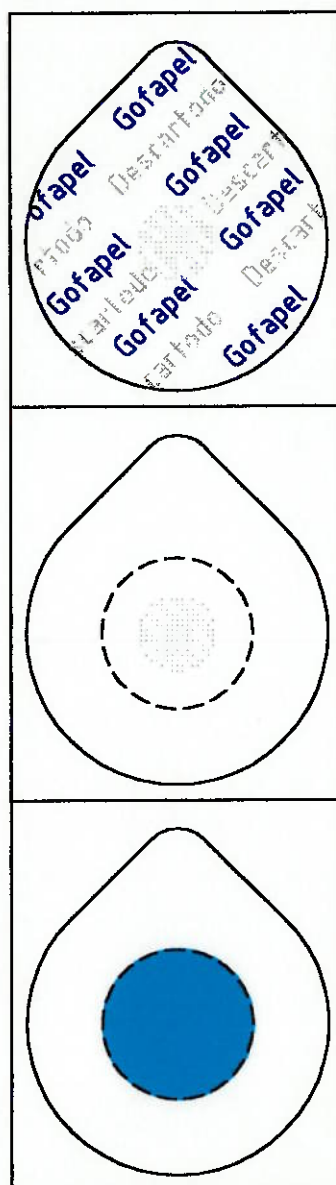
- [1] Joseph Edward Shigley, Charles R. Mischke – “Mechanical Engineering Design” – Fifth Edition – McGraw-Hill International Editions
- [2] Robert C. Juvinall, Kurt M. Marshek – “Fundamentals of Machine Component Design” – Second Edition – John Wiley & Sons
- [3] Gordon Van Wylen, Richard Sonntag, Claus Borgnakke – “Fundamentos da Termodinâmica Classica” – Tradução da Quarta Edição Americana – Editora Edgard Blücher Ltda.
- [4] J. P. Holman – “Transferência de Calor” – Primeira Edição – McGraw-Hill
- [5] Timoshenko, Stephen P. – “Mecânica dos Sólidos” - Terceira Edição – LTC (Livros Técnicos e Científicos) Editora
- [6] Nash, William Arthur – “Resistência dos Materiais” – Segunda Edição – McGraw-Hill
- [7] Willems, Nicholas - “Resistência dos Materiais” – Primeira Edição – McGraw-Hill
- [8] Catálogos: Erhardt & Leimer Indústria e Comércio Ltda.

**PROJETO DE MÁQUINA PARA FABRICAÇÃO DE ELETRODOS
DESCARTÁVEIS PARA ELETROCARDIOGRAMA**

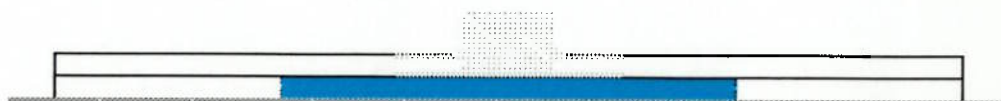
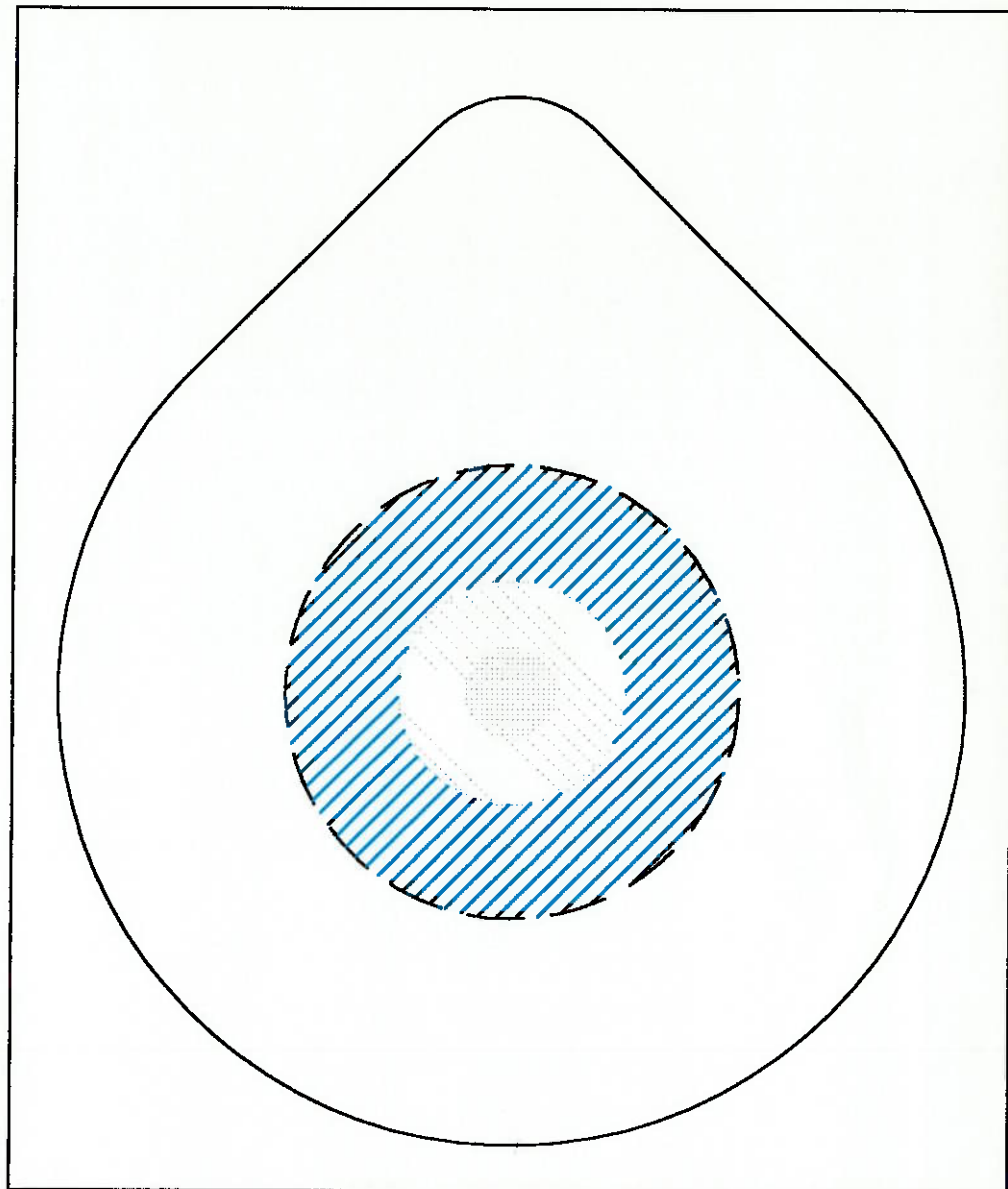
Anexo A

ELETRODO

1. DESENHO DA TIRA DE ELETRODOS COM TRÊS VISTAS
 2. DESENHO DO ELETRODO EM ESCALA 3:1
-



ESCALA 1:1



ESCALA 3:1

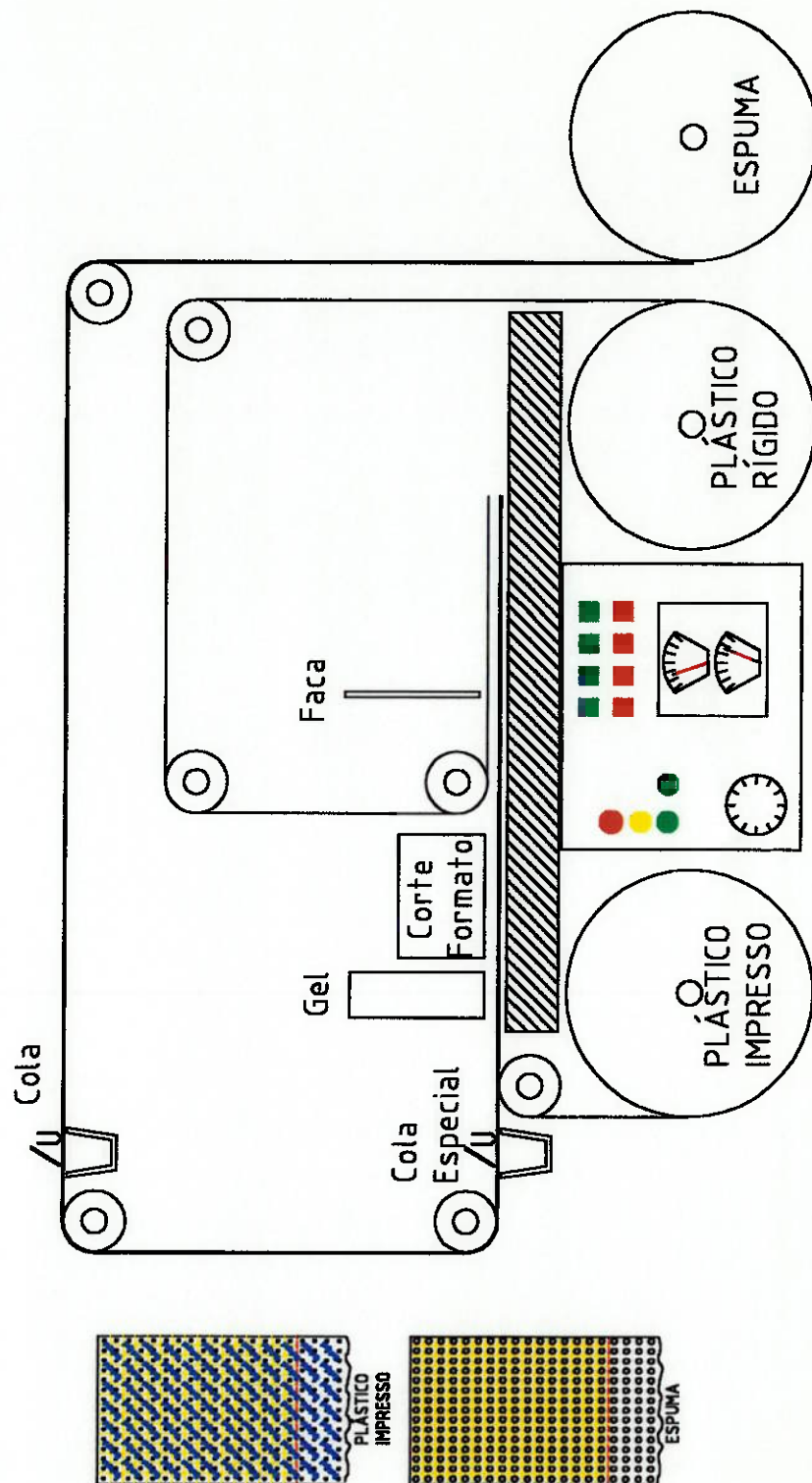
**PROJETO DE MÁQUINA PARA FABRICAÇÃO DE ELETRODOS
DESCARTÁVEIS PARA ELETROCARDIOGRAMA**

Anexo B

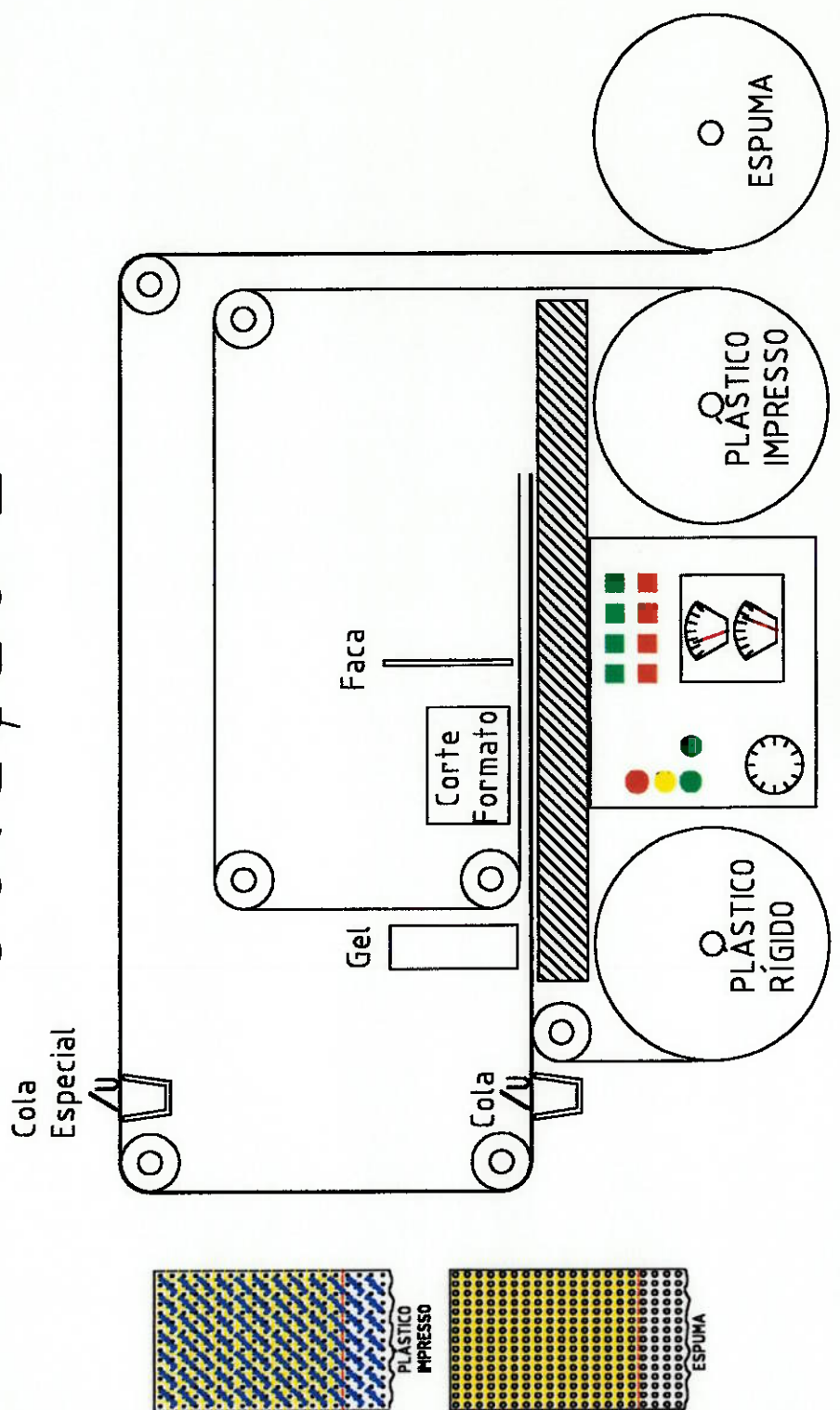
SOLUÇÕES 1, 2 E 3

1. DESENHO ESQUEMÁTICO DA SOLUÇÃO 1
 2. DESENHO ESQUEMÁTICO DA SOLUÇÃO 2
 3. DESENHO ESQUEMÁTICO DA SOLUÇÃO 3
-

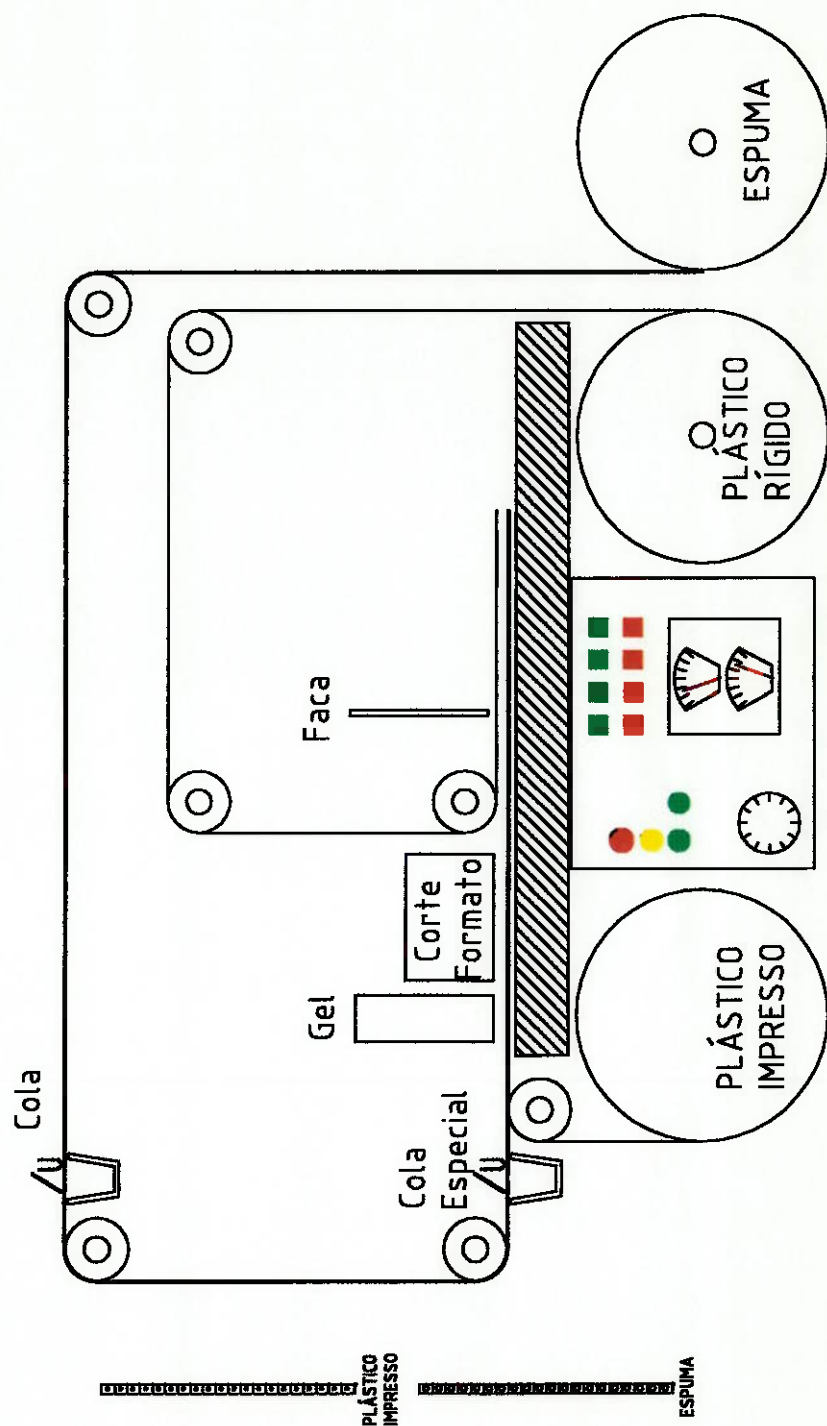
Solução 1



Solução 2



Solução 3



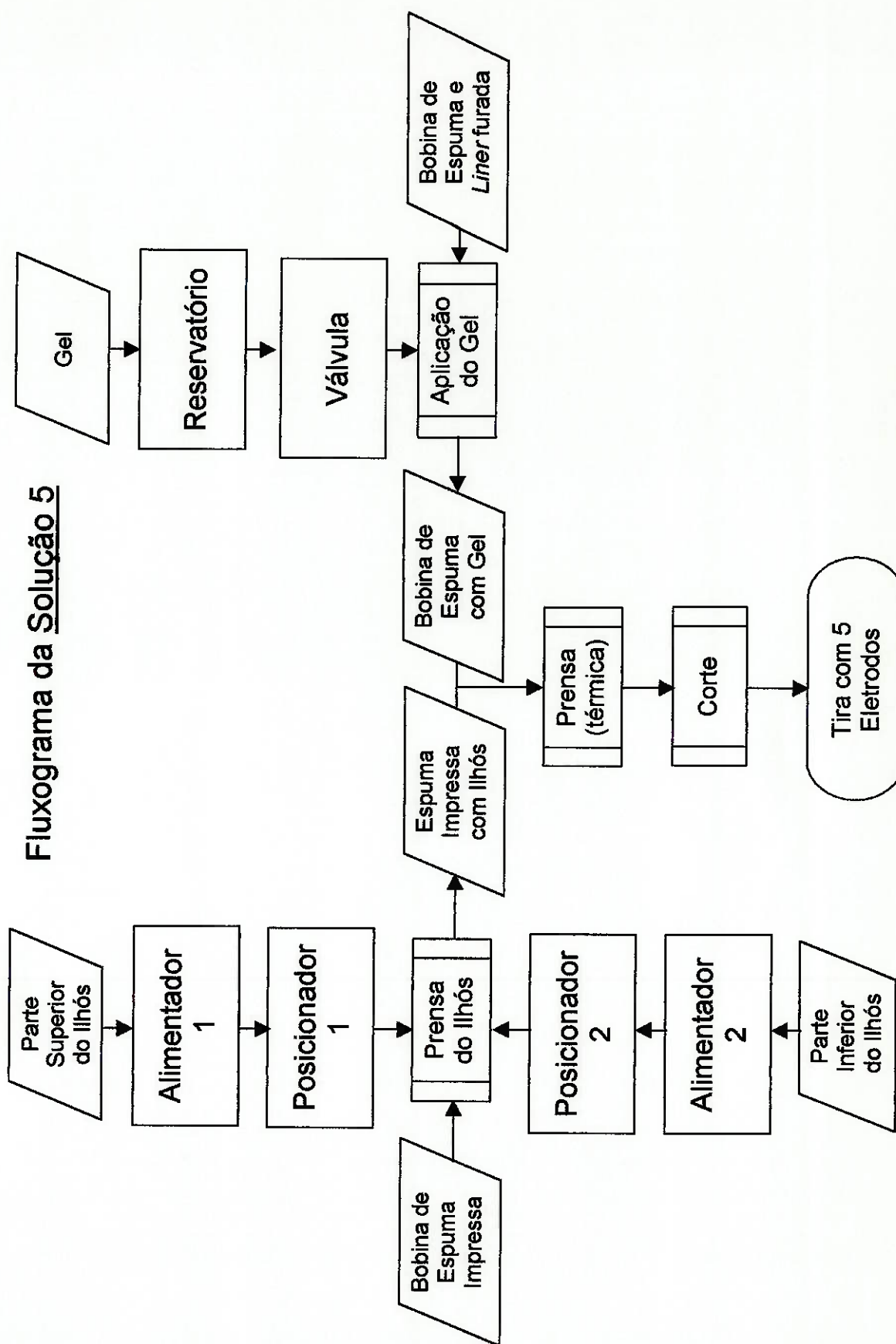
**PROJETO DE MÁQUINA PARA FABRICAÇÃO DE ELETRODOS
DESCARTÁVEIS PARA ELETROCARDIOGRAMA**

Anexo C

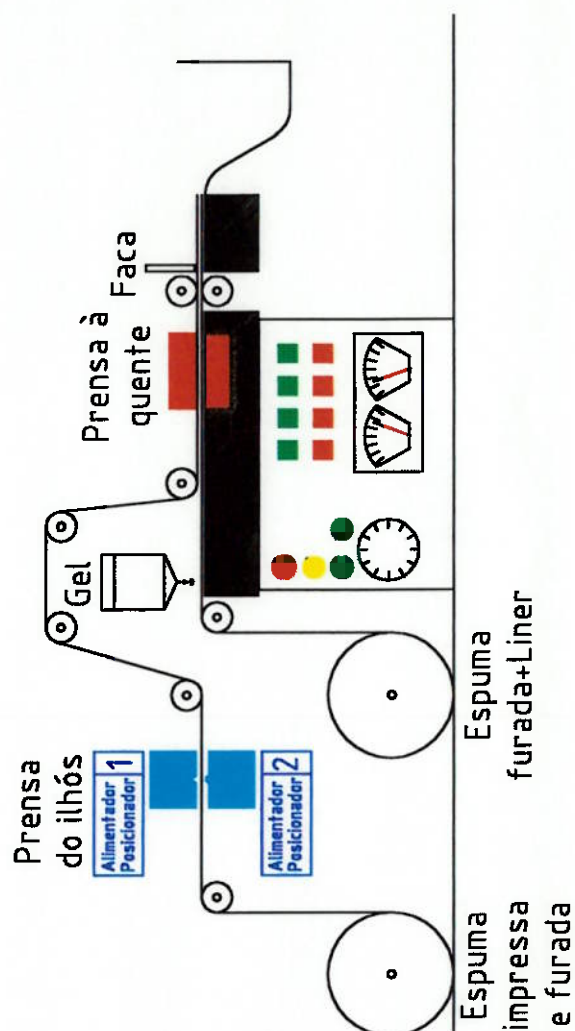
SOLUÇÃO 5

1. FLUXOGRAMA DA SOLUÇÃO 5
 2. DESENHO ESQUEMÁTICO DA SOLUÇÃO 5
-

Fluxograma da Solução 5



Solução 5



**PROJETO DE MÁQUINA PARA FABRICAÇÃO DE ELETRODOS
DESCARTÁVEIS PARA ELETROCARDIOGRAMA**

Anexo D

MÁQUINA

1. VISTA FRONTAL EM PERSPECTIVA TRIDIMENSIONAL DA MÁQUINA
 2. VISTA TRASEIRA EM PERSPECTIVA TRIDIMENSIONAL DA MÁQUINA
 3. VISTA LATERAL EM PERSPECTIVA TRIDIMENSIONAL DA MÁQUINA
 4. VISTA ISOMÉTRICA FRONTAL DA MÁQUINA
 5. VISTA ISOMÉTRICA SUPERIOR DA MÁQUINA
 6. VISTA ISOMÉTRICA LATERAL DA MÁQUINA
-

