

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Aquecedor de Gel para Ultra-sonografia

Fabio Fígaro Pinca

Orientador: Prof. Dr. Raúl González Lima

SÃO PAULO
2005

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

AQUECEDOR DE GEL PARA ULTRA-SONOGRAFIA

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

Fabio Fígaro Pinca

Orientador: Prof. Dr. Raúl González Lima

**SÃO PAULO
2005**

TE05
P651a

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600011111

FICHA CATALOGRÁFICA

001490711

Pinca, Fabio Fígaro

Aquecedor de gel para ultra-sonografia / F.F. Pinca. – São Paulo, 2005.

34p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Ultrasonografia 2.Equipamentos e provisões hospitalares
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

RESUMO

Este projeto tem como objetivo desenvolver um equipamento para aquecimento de gel usado em exames ultra-sonográficos. A principal função deste aparelho é oferecer conforto no momento dos exames, pois muitos dos pacientes já chegam na sala de ultra-som incomodados com a situação. Para se chegar a uma solução viável foram estudados equipamentos, géis e bisnagas existentes no mercado bem como realizadas simulações em elementos finitos. O produto não pode oferecer nenhum risco à saúde do paciente, nem danificar o equipamento de ultra-sonografia.

ABSTRACT

The aim of this project is to develop an equipment to warm gel that will be used in ultrasonography. The main function of this device is to offer comfort at the moment of the examination. Most of the patients arrive in the room bothered with the situation. Equipments, gels and plastic bottles available in the market were analyzed and, simulations in finite elements were performed to reach a viable solution. This device cannot offer risks to the patient's health or damage the ultrasonography equipment.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS A SEREM DESENVOLVIDAS	2
3. ESTUDO DE CASO.....	3
3.1. Visita ao Hospital do Câncer de Barretos.....	3
3.2. Análise do mercado de aquecedores de Gel	4
3.3. Análise do Gel utilizado em Ultra-Sonografias.....	5
3.4. Análise da bisnaga aplicadora de Gel.....	6
4. DESENVOLVIMENTO DAS ALTERNATIVAS.....	7
4.1. Aquecedor a seco para três bisnagas:.....	8
4.2. Aquecedor a seco unitário:	9
4.3. Aquecedor do tipo manta:	10
4.4. Aquecedor em banho Maria:.....	11
4.5. Dosador aquecedor:	12
5. ESCOLHA DA SOLUÇÃO	13
6. PROJETO DO PRODUTO	14
6.1. Componentes	14
6.2 Montagem do protótipo.	18
6.3. Simulação em Elementos Finitos.....	21
7. TESTES E RESULTADOS	23
7.1. Temperatura interna do tubo sem a bisnaga.....	24
7.2. Temperatura interna do tubo com a bisnaga.....	25
7.3. Temperatura do gel – termostato em 40 graus.	26
7.4. Temperatura do gel – termostato em 34 graus	27
8. CONCLUSÕES.....	28
9. BIBLIOGRAFIA	29

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho de formatura faz parte de um projeto proposto pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), o projeto se chama Poli Cidadã, e busca aproximar a produção intelectual dos formandos da faculdade a entidades que necessitam de auxílio. Desta forma além de desenvolver na prática os conteúdos aprendidos durante o curso, desperta uma conscientização social nos alunos. O projeto de formatura a ser realizado para a conclusão do curso de engenharia mecânica é o projeto de um aquecedor de gel para exames de ultra-sonografia. Este aquecedor deve atender a requisitos básicos necessários para ser usado numa clínica hospitalar, entre eles o principal, ser o mais inócuo possível para a saúde do paciente. Fora este requisito (não ser um vetor para infecções hospitalares) o projeto deve atender alguns requisitos específicos para cumprir seus objetivos. Ele deverá ser um aquecedor de custo menor que os similares no mercado, deverá ser fácil de manusear e higienizar, e aquecer e manter a temperatura do gel entre 38-40 °C. Deve-se levar em consideração o ambiente no qual se encontrará o aparelho, um ambiente com temperatura controlada e com sérias restrições quanto à umidade.

2. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS A SEREM DESENVOLVIDAS

As fases do projeto estão divididas em cinco grandes etapas; Estudo de caso, projeto do sistema de controle, projeto do produto, analise de custos e por fim formalização do projeto. Essas etapas possuem diversas tarefas, são elas:

Estudo de Caso:

- Visitas ao Hospital do Câncer de Barretos para conhecer de perto os requisitos do projeto.
- Analise do mercado de aquecedores e de gel para ultra-sonografia.
- Desenvolver alternativas (brainstorm) e escolher a solução.

Projeto do produto:

- Planejamento de como será realizado o controle térmico.
- Escolha dos materiais.
- Aquisição dos componentes
- Desenvolvimento de um modelo
- Construção.
- Ajustes

Analise de custos:

- Custo de produção.
- Custos operacionais.

Formalização do projeto:

- Relatório Parcial
- Relatório Final

O cronograma físico para a realização do projeto é apresentado no Anexo A.

3. ESTUDO DE CASO

3.1. Visita ao Hospital do Câncer de Barretos

Para o desenvolvimento deste trabalho de formatura foram necessárias visitas ao Hospital do Câncer de Barretos para esclarecer os requisitos do projeto. As visitas consistiram em percorrer todas as unidades do hospital e conhecer seus equipamentos (fotos dos equipamentos podem ser vistas no Anexo B).

Realizando-se entrevistas com diversos doutores e funcionários do hospital, em especial o Dr. Fabiano, foi possível enxergar às reais necessidades da instituição com relação aos aquecedores de gel:

- Aquecer o Gel da temperatura ambiente da sala de ultra-sonografia (aproximadamente 20°C com o ar-condicionado ligado) até uma temperatura confortável termicamente (38-40°C, próxima da temperatura corpórea).
- A temperatura do aquecedor não pode fazer com que o gel perca suas características originais.
- Um aquecedor por sala, sendo quatro salas de ultra-sonografia.
- Não aumentar a umidade do ambiente para não danificar o aparelho de ultra-som.
- Baixo custo (abaixo das alternativas do mercado).
- Compatível principalmente com as bisnagas do fornecedor Carbogel.
- Aquecer entre 20 a 25 bisnagas/dia, para as quatro salas.

3.2. Análise do mercado de aquecedores de Gel

O projeto de um aquecedor de gel para ultra-sonografia envolve componentes de fácil obtenção no mercado e de baixo custo, e que também não compromete a qualidade do projeto em face às opções já existentes no mercado. Opções essas em sua maioria de tecnologia importada e com o preço do equipamento cotado em dólares (na faixa de 100 a 250 dólares, como visto no Anexo B), isso sem contar os encargos tributários de importação. Produtos similares encontrados no mercado nacional possuem preço em torno de 350 reais.

Muitas clínicas utilizam-se de aquecedores de mamadeira como uma alternativa para a falta do aquecedor de gel. Apesar do custo deste aquecedor ser bem menor que um de gel, estes aquecedores improvisados possuem baixo rendimento térmico, a temperatura não atinge o ideal para o total conforto do paciente e possuem durabilidade reduzida (pois o uso é muito mais intenso que o comum). Portanto esta solução funciona apenas como um paliativo, não suplantando a necessidade nas clínicas de um aquecedor específico para gel de ultra-sonografia.

3.3. Análise do Gel utilizado em Ultra-Sonografias

O gel utilizado é especialmente recomendado para uso como meio de contato para transmissão ultra-sônica, em aparelhos de ultra-sonografia, ecógrafos e dopplers.

Por ser um gel de base aquosa suas principais propriedades físicas são semelhantes as da água (ponto de fusão, ebulação e condução térmica) com a diferença de que não existe uma parcela de transmissão de calor por convecção.

Algumas das propriedades físicas:

Densidade: 0,99 g/cm³

Ponto de ebulação: 100°C

Ponto de fusão: 0°C

Condutividade térmica: 0.6040 W/mK

Calor específico: 4179 J/kgK

Outras características desse gel:

- Não ataca o Transdutor;
- pH neutro. Torna o gel totalmente inofensivo à pele do paciente;
- Não tem cor, mantendo o transdutor sempre limpo e sem manchas;
- Devido à sua consistência, não escorre, facilitando o exame e economizando gel;
- Não tem cheiro desagradável que costuma impregnar a pele dos pacientes;
- Não é gorduroso o que o torna facilmente absorvível por guardanapos de papel, algodão ou qualquer outro tecido, favorecendo sua remoção após o exame;

Alguns cuidados devem ser seguidos para preservar as propriedades desse gel, são eles:

- Estocar em lugares frescos e abrigados da luz.
- Em dias quentes recomenda-se limpar a pele do paciente com um tecido ou papel úmido, antes de aplicar o gel.

3.4. Análise da bisnaga aplicadora de Gel

Existem diferentes tipos de bisnagas, um tipo para cada marca de gel. Como o maior volume de gel comprado pelo Hospital do câncer de Barretos é o fornecido pela Carbogel (cada garrafa ou bujão acompanha uma bisnaga aplicadora), é interessante configurar o projeto para as medidas destas bisnagas. Vale ressaltar que a diferença de diâmetro entre algumas marcas pode ser desprezada, como no caso do fornecedor de gel Aquassonic (diferença no diâmetro de 0,2 mm para a bisnaga da Carbogel).

Caso o fabricante Carbogel resolva mudar as dimensões de suas bisnagas existe a alternativa de adquiri-las de uma empresa especializada na fabricação de frascos plásticos por sopro ou por injeção. Existem diversas dessas empresas no mercado, com preços para as bisnagas bem acessíveis.

Para este projeto, a bisnaga assumida como padrão será a bisnaga de 250ml da Carbogel, feita de polietileno e com as seguintes medidas:

Diâmetro:	51,4 mm
Altura:	123 mm
Espessura:	0,4 mm
Densidade:	96 kg/m ³
Condutividade térmica:	0,43 W/mK
Calor específico:	2000 J/kgK
Temperatura de amolecimento:	acima de 90°C

4. DESENVOLVIMENTO DAS ALTERNATIVAS

Sabendo as principais necessidades que o projeto do aquecedor de gel deve suprir, foi realizado um brainstorm para o levantamento de possíveis soluções passíveis de uma posterior análise para seleção da que melhor atender a essas necessidades.

As soluções encontradas estão brevemente especificadas uma a uma com seus prós e contras detalhados logo em seguida:

4.1. Aquecedor a seco para três bisnagas:

Consiste numa caixa metálica com três orifícios onde se encaixam as bisnagas de gel para aquecimento. Estas bisnagas são aquecidas por resistências em forma de coleira fixadas nos copos onde as mesmas estão encaixadas. Cada orifício possui um controle próprio liga/desliga, com luzes indicando o funcionamento (alimentação de energia e resistência ligada). As resistências são controladas por termostatos instalados em cada um dos orifícios de aquecimento.

PRÓS:

- Alta capacidade de aquecimento, até três bisnagas de gel de uma só vez.
- Baixa interferência ambiental, pois o sistema é isolado termicamente do ambiente.
- Facilidade de operação, apenas um botão para cada bisnaga.
- Boa velocidade de aquecimento.

CONTRAS:

- Custo elevado de produção, pela complexidade e número de componentes.
- Grande espaço ocupado na sala de ultra-sonografia.
- Complexidade na construção, pois não deve haver interferência do controle entre os orifícios de aquecimento.
- Deve-se usar apenas bisnaga com diâmetro compatível.

4.2. Aquecedor a seco unitário:

Mesmo princípio que o aquecedor a seco para três bisnagas. Consiste numa caixa metálica com um orifício onde se encaixa a bisnaga de gel para aquecimento. Esta bisnaga é aquecida por uma resistência em forma de coleira fixada no copo onde a mesma está encaixada. Possui um controle liga/desliga, com luzes indicando o funcionamento (alimentação de energia e resistência ligada). A resistência é controlada por um termostato instalado em um local apropriado.

PRÓS:

- Baixo custo de produção.
- Baixa interferência ambiental, pois o sistema é isolado termicamente do ambiente.
- Facilidade de operação, apenas um botão.
- Ocupa pouco espaço na sala de ultra-sonografia.
- Boa velocidade de aquecimento.

CONTRAS:

- Aquece apenas uma bisnaga por vez.
- Deve-se usar apenas bisnaga com diâmetro compatível.

4.3. Aquecedor do tipo manta:

Consiste em uma manta de neoprene em cujo interior se encontra uma resistência elétrica. Para aquecer a bisnaga de gel basta enrolar nesta manta e ligar na energia, o controle da resistência é feito por um termostato instalado na ponta da manta (parte que fica em contato direto com a bisnaga).

PRÓS:

- Espaço ocupado na sala de ultra-sonografia.
- Aceita diversos tipos de bisnagas.

CONTRAS:

- Alta interferência ambiental, pois não é isolada termicamente.
- Complexidade na construção, mais especificamente na implantação da resistência e do controle em uma manta de neoprene.

4.4. Aquecedor em banho Maria:

Consiste em uma cuba com água, onde as bisnagas de gel ficam imersas. A água da cuba é aquecida por uma resistência controlada por um termostato.

PRÓS:

- Facilidade de construção.
- Aceita diversos tipos de bisnagas.
- Aquecimento rápido do gel.
- Pode aquecer diversas bisnagas ao mesmo tempo.

CONTRAS:

- Alta interferência ambiental, pois não é isolada termicamente além de que produz vapor de água, o que é altamente prejudicial para o equipamento de ultra-sonografia.
- A presença da água dificulta o uso, pois corre o risco de molhar a sala, os equipamentos e os documentos.

4.5. Dosador aquecedor:

Aquece o gel antes deste ser dosado dentro da bisnaga. Seria um aquecedor de grande quantidade de gel, que manteria esse gel aquecido até surgir a necessidade do uso. Seria dosada a quantidade suficiente de gel já aquecido dentro da bisnaga.

PRÓS:

- Baixa interferência ambiental, sistema isolado do ambiente.
- Grande capacidade de gel.
- Facilidade de operação.

CONTRAS:

- Alto custo e complexidade de produção.
- Consumo elevado de energia.
- Incomodo de sempre ter que reabastecer as bisnagas a cada uso, podendo ocorrer de permanecer gel resfriado na bisnaga que está sendo recarregada.
- Pode ocorrer uma deterioração do gel no aparelho.

5. ESCOLHA DA SOLUÇÃO

Para escolher a solução que melhor se adequei aos requisitos do projeto, é necessário levar em consideração os fatores críticos do projeto, para então se realizar uma matriz de decisão, como foi de fato feito neste caso e explicitado no Anexo C.

Fatores críticos na matriz de decisão, pontos de maior relevância na escolha da melhor solução:

- Facilidade de construção: O grau de complexidade na montagem do equipamento, número de etapas no processo de fabricação e know-how para a execução do projeto.
- Custo de produção: Gastos envolvidos com a compra de componentes e mão-de-obra.
- Facilidade de operação: Número de passos que o usuário deve realizar para aquecer o gel.
- Interferência ambiental: O quanto o funcionamento do equipamento interfere nas condições ambientais da sala de ultra-sonografia e vice-versa.
- Velocidade de aquecimento: Tempo em que o gel leva até atingir 40°C.
- Capacidade de aquecimento: Número de bisnagas que podem ser aquecidas em um determinado período de tempo.

Solução escolhida:

A solução escolhida para o projeto do desenvolvimento do aquecedor de gel através da matriz de decisão é a solução “Aquecedor a seco unitário”. Uma solução que apresenta uma melhor relação entre prós e contras e atende da maneira mais eficiente os requisitos do projeto.

6. PROJETO DO PRODUTO

6.1. Componentes

Para o projeto de um Aquecedor de Gel a seco unitário, a resistência que inicialmente seria utilizada era a do tipo coleira. Essa resistência é do tipo que abraça uma superfície cilíndrica (no caso o copo onde será encaixada a bisnaga) daí o seu nome. Porém no decorrer do projeto uma nova resistência mostrou-se muito mais vantajosa, é uma resistência conhecida como “fio de silicone” (vide Fig. 6.1.1).



Figura 6.1.1- Resistência de "silicone".

Ela consiste em um fio de resistência revestido por uma capa de silicône, e as vantagens sobre a resistência do tipo coleira estão listadas abaixo:

- Custo 50% a menos que a resistência do tipo coleira.
- Pronta entrega, ao passo que o prazo de manufatura de uma resistência coleira é em torno de quinze dias.
- Maior versatilidade, ela se adapta a qualquer diâmetro que tenha o copo onde será encaixado a bisnaga.
- Baixo peso.
- Baixo volume.
- Alta durabilidade, e fácil manutenção em caso que troca.

Esta resistência tem 1m de comprimento com 100W no total e será enrolada no copo metálico já em contato com o sensor do termostato

O sensor de temperatura será um termostato analógico de mercúrio com regulagem para manter a temperatura em até 40°C com 2°C de precisão (vide Fig. 6.1.2). Este termostato estará em contato com o copo metálico e isolado da resistência por uma malha de aramida. Assim ele garantirá que a máxima temperatura fornecida pela resistência não ultrapasse 40°C no copo metálico, quando se ultrapassa esta temperatura a resistência é automaticamente desligada somente religando-se quando a temperatura cair abaixo dos 40°C.



Figura 6.1.2 - Termostato.

O projeto também conta com luzes guia de néon (Fig. 6.1.3) que indicarão quando a resistência estiver ligada (luz vermelha) e quando houver alimentação de energia (luz verde).



Figura 6.1.3 - Luzes indicadoras de funcionamento.

Para o isolamento térmico será utilizado um tecido de aramida (Fig. 6.1.4), material isolante e de não propagação de chamas.



Figura 6.1.4 - Malha de aramida.

Para o tubo que transmitirá o calor da resistência para a bisnaga encaixada de gel, o material deverá ser o melhor condutor de calor possível. Portanto este componente será feito de alumínio, excelente condutor e ainda com a vantagem de ser leve e durável. O tubo utilizado será o da Alcan perfil TUB-375 ($d_e = 55,00\text{mm}$, $d_i = 52,00\text{mm}$, $e = 1,50\text{mm}$). Lembrando que a bisnaga de gel possui diâmetro $d=51,40\text{mm}$ e altura $h=123\text{mm}$, o tubo terá 120mm de altura (vide Fig. 6.1.5).



Figura 6.1.5 - Tubo de alumínio.

O corpo do protótipo será feito de placas de acrílico com 4mm de espessura, incolor e totalmente transparente, afim de que seus componentes internos fiquem a mostra para os examinadores. Estas placas de acrílico serão devidamente cortadas e furadas e a montagem no formato de cubo será feita utilizando-se adesivo de contato específico para este material. O acrílico possui propriedades que atendem os requisitos do projeto, ele é excelente isolante térmico, possui grande resistência a

impactos, é leve e fácil de trabalhar. Abaixo encontram-se algumas propriedades deste material:

- Temperatura de deformação: 109°C
- Temperatura máxima de utilização continua: 85°C
- Temperatura de auto-inflamação: 430°C
- Coeficiente K de isolamento: entre 4,5 a 5,3 W/m°C
- Tensão de ruptura a tração (80°C): 24MPa
- Densidade: 1,19 g/m³

Para o produto final o acrílico poderá ser das mais diversas texturas e cores, agregando um valor estético para o aquecedor, quebrando o aspecto intimidador de uma sala de ultra-sonografia.

6.2 Montagem do protótipo.

O sensor do termostato deve estar entre o tubo e a resistência de modo que fique uma face em contato com o alumínio e a outra face virada para a resistência e coberta com uma malha de aramida para que o sensor não fique em contato direto com a resistência. Este sensor ficará fixado em seu lugar apenas pela pressão de contato exercida pela resistência.

A resistência vai enrolada no tubo de alumínio junto com o sensor já devidamente protegido pela aramida. Sua posição deverá ser centralizada no comprimento deste tubo, vide Fig 6.2.1.

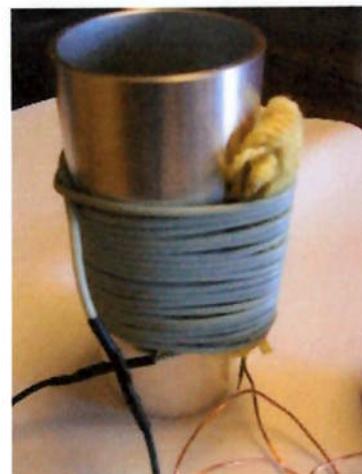


Figura 6.2.1 - Enrolamento da resistência no conjunto tubo/sensor termostato.

Toda a fixação do conjunto tubo de alumínio, sensor e resistência deverá ser garantida por uma malha de aramida enrolada neste conjunto e depois devidamente fixada por lacres plásticos, vide Fig. 6.2.2.



Figura 6.2.2 - Enrolamento da manta de aramida.

A luz de advertência de energia ligada deve ir em paralelo com todo o conjunto, enquanto que a luz de advertência de resistência ligada deve ir somente em paralelo com a resistência.

O custo total dos componentes utilizados neste projeto está avaliado em R\$100,00.

O conjunto montado e a ligação elétrica são melhores explicados pelas figuras 6.2.3 e 6.2.4 respectivamente.

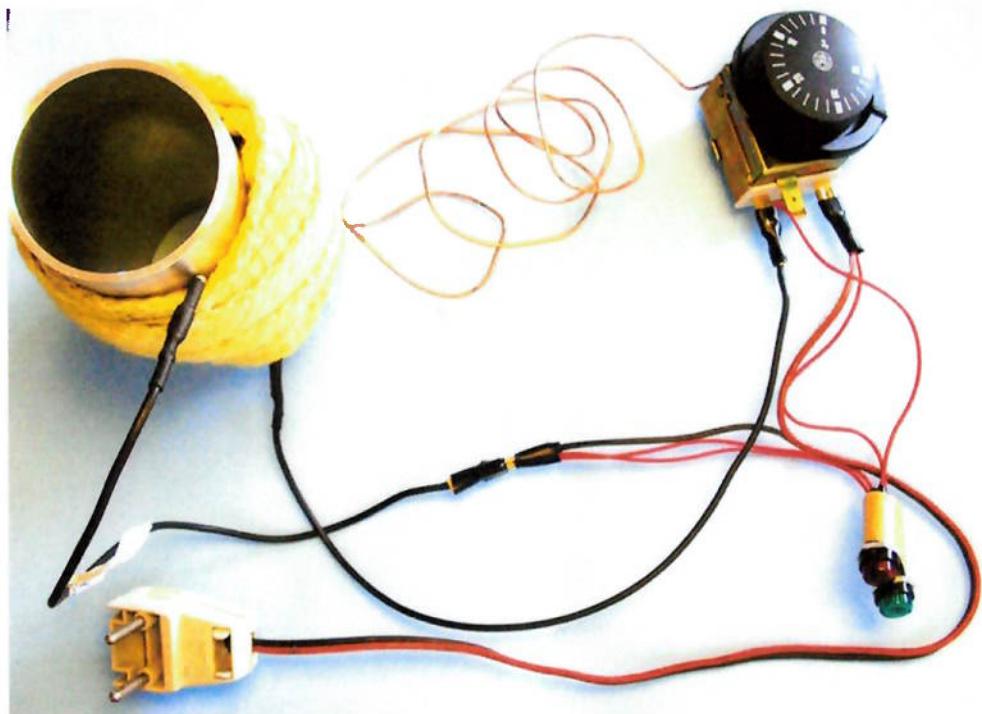


Figura 6.2.3 - Conjunto montado.

Lâmpada de resistência ligada

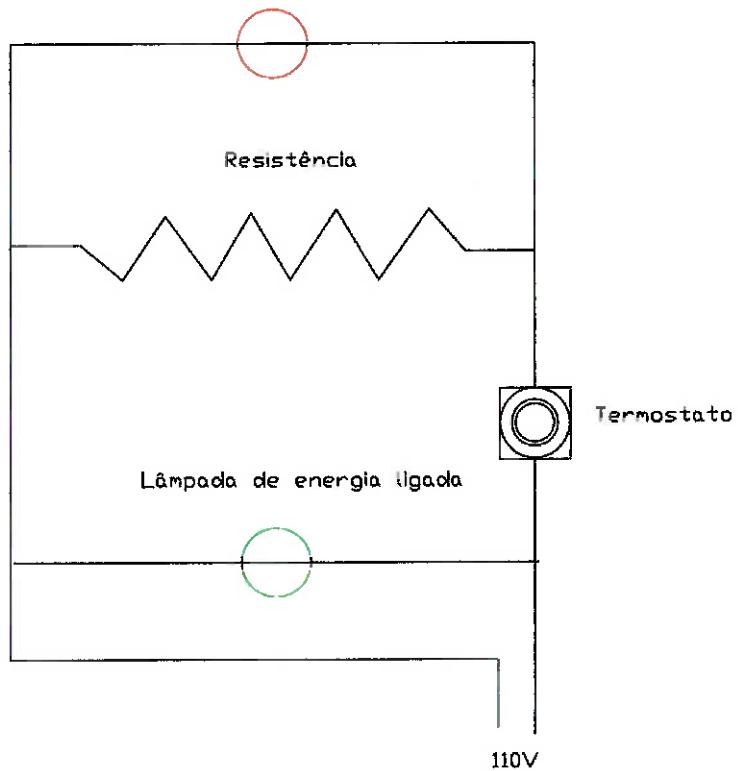


Figura 6.2.4 - Esquema das ligações elétricas.

6.3. Simulação em Elementos Finitos

Para a simulação em elementos finitos do equipamento em funcionamento foi feito um modelo simplificado do problema utilizando-se do software FEHT. Esta simulação foi fundamental para o correto dimensionamento do projeto. A partir dela pode-se prever o comportamento do sistema.

Algumas considerações sobre o modelo em elementos finitos:

- Foi realizada uma simulação bidimensional devido a simetria do projeto.
- A superfície inferior do copo metálico foi considerada adiabática.
- Foram utilizados 780 pontos nodais (limitados pela licença do software)
- Os valores dimensionais e as propriedades dos materiais são os valores mostrados neste mesmo relatório.
- A superfície superior possui convecção (5Watts/m²K).
- O equipamento está inserido em um ambiente a 20°C.
- Desconsidera-se a resistência de contato entre a superfície de alumínio e a superfície plástica da bisnaga.
- As temperaturas de todos os pontos partem da temperatura ambiente (20°C).
- Atingindo-se 40°C na resistência, esta permanece na mesma temperatura.

Após essa simulação pode-se chegar a algumas conclusões:

- O gel demanda pouco mais de 60 minutos de aquecimento para elevar sua temperatura de 20°C até 40°C.
- As temperaturas envolvidas não colocam em risco a segurança tanto do equipamento quanto dos materiais envolvidos no aquecimento (bisnaga plástica e o próprio gel).
- Temperaturas inferiores reguladas no termostato resultam em tempos de aquecimento maiores.
- A espessura do tubo de alumínio não influencia no aquecimento tanto quanto a espessura da parede plástica da bisnaga.

Para a bisnaga com metade do gel conclui-se:

- O gel conforme o esperado demanda pouco menos de 60 minutos de aquecimento para elevar sua temperatura de 20°C até 40°C.
- A temperatura na parede não compromete a integridade da bisnaga plástica.

Os resultados são melhores visualizados no Anexo E.

Quando ocorre o caso da bisnaga estar vazia, para a maioria dos termostatos disponíveis no mercado, é possível que a temperatura da parede exceda os 40 graus, porém a resposta é rápida o suficiente para que esta temperatura atingida (50°C em média) não derreta a bisnaga.

7. TESTES E RESULTADOS

Foram realizados quatro testes com o protótipo a fim de avaliar o comportamento real do equipamento. Estes testes compreenderam diversas situações de interesse que possam ocorrer em uma sala de ultra-sonografia, ou seja, situações extremas que poderiam representar algum risco para a segurança da sala ou então situações normais de funcionamento.

As temperaturas do meio em que se realizaram os testes com o equipamento também foram monitoradas e mantidas nas condições mais semelhantes possíveis as de uma sala de ultra-sonografia.

Para isso foi necessário o uso de um termômetro digital para acompanhar as temperaturas nos pontos estratégicos.

7.1. Temperatura interna do tubo sem a bisnaga.

Neste teste foi medida a temperatura na parede interna do tubo de alumínio no meio do comprimento deste. O termostato estava regulado na máxima temperatura (40°C) e não havia bisnaga de gel no equipamento. A temperatura ambiente era $22,6^{\circ}\text{C}$, e a temperatura inicial do gel era a mesma do ambiente. O objetivo deste teste foi medir a velocidade de resposta do sistema e a máxima temperatura que o equipamento poderia atingir caso fosse esquecido de se colocar a bisnaga no tubo.

Os resultados obtidos são mostrados na Fig. 7.1.

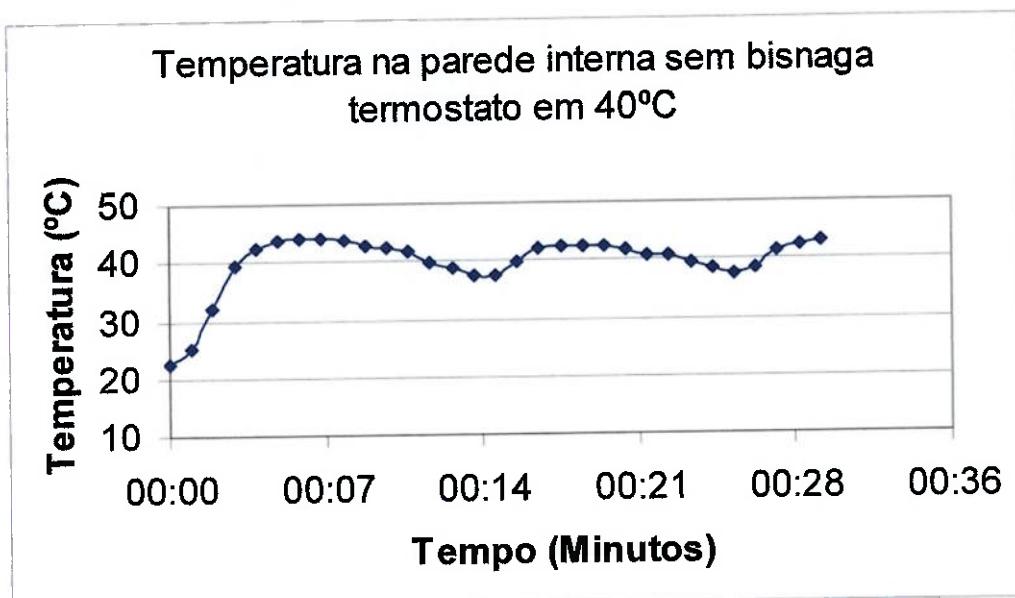


Figura 7.1 - Resultados obtidos.

A temperatura máxima atingida pelo tubo de alumínio foi de $44,2^{\circ}\text{C}$, isto não acarreta em risco para a bisnaga muito menos para a sala de ultra-sonografia. A temperatura fica oscilando em torno dos 40 graus com um período médio de 7 minutos, onde o tempo de resistência ligada foi de 1 minuto aproximadamente. Portanto o consumo do aparelho nestas condições é em média de 15W/hora. É importante ressaltar que este consumo calculado é o consumo máximo de operação do aparelho, uma vez que estas condições representam a maior perda possível de energia para o meio, entre todas as situações possíveis.

7.2. Temperatura interna do tubo com a bisnaga.

Neste teste foi medida a temperatura da parede interna do tubo de alumínio no topo deste. O termostato estava regulado na máxima temperatura (40°C) e havia encaixada no tubo uma bisnaga de gel (70% cheia). A temperatura ambiente era $23,4^{\circ}\text{C}$, e a temperatura inicial do gel era a mesma do ambiente. O objetivo deste teste foi avaliar a resposta do sistema e também a temperatura na interface alumínio-metal. Os resultados obtidos são mostrados na Fig. 7.2.

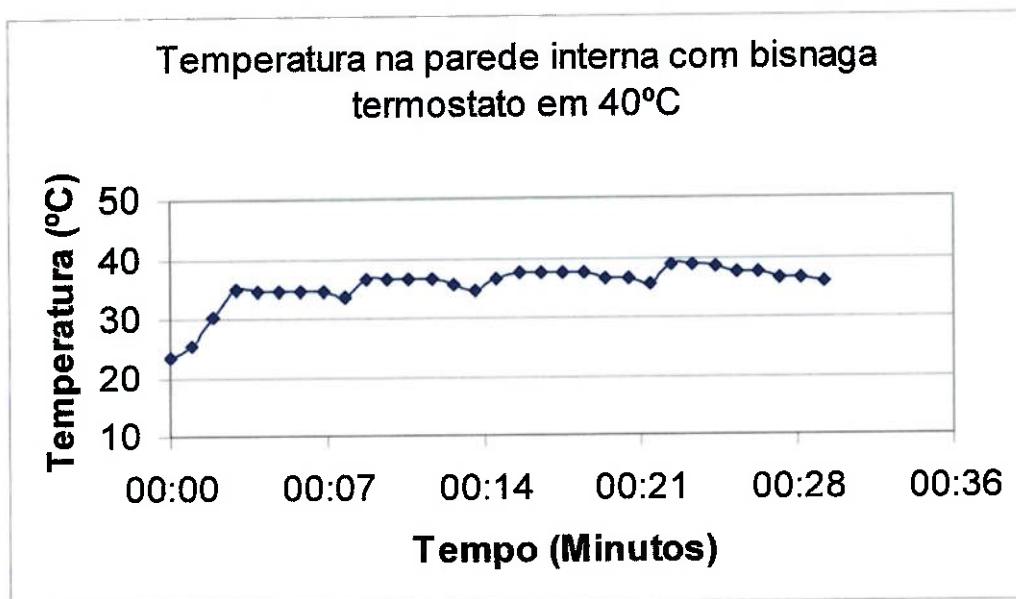


Figura 7.2 - Resultados obtidos.

A temperatura máxima atingida pelo tubo de alumínio no período analisado foi de $39,8^{\circ}\text{C}$, isto não acarreta em risco para a bisnaga muito menos para a sala de ultra-sonografia. A temperatura fica oscilando em torno dos 38°C com um período médio de 7 minutos, onde o tempo de resistência ligada foi de 1 minuto aproximadamente. Portanto o consumo do aparelho nestas condições é em média de 15W/hora. A diferença com o caso anterior no consumo foi irrigária.

7.3. Temperatura do gel – termostato em 40 graus.

Neste teste foi medida a temperatura no centro da bisnaga (70% cheia de gel). O termostato estava regulado na máxima temperatura (40°C). A temperatura ambiente era de 23,2°C e a temperatura inicial do gel era de 20,0°C. O objetivo deste teste foi o de analisar o comportamento do sistema quando se deseja obter a máxima temperatura no gel. Os resultados obtidos são mostrados na Fig. 7.3.

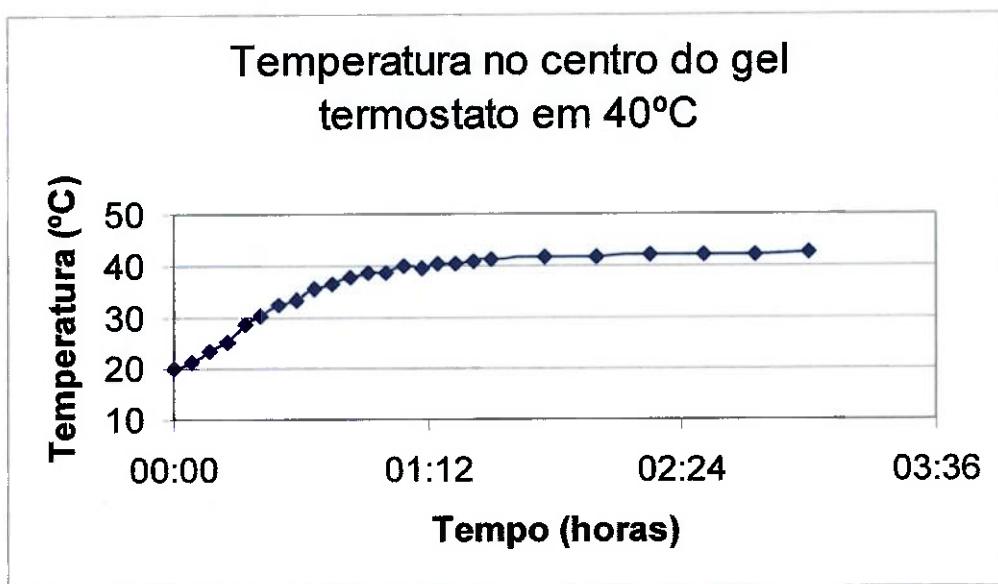


Figura 7.3 - Resultados obtidos.

A temperatura atingida pelo gel foi um pouco acima dos 40°C regulados no termostato (42,4°C). O tempo para o gel atingir os 40°C foi de aproximadamente 1 hora, assim como foi previsto através do modelo de elementos finitos apresentado.

7.4. Temperatura do gel – termostato em 34 graus

Neste teste foi medida a temperatura no centro da bisnaga (70% cheia de gel). O termostato estava regulado na temperatura que será mais comumente utilizada no hospital (34 °C). A temperatura ambiente era de 21,5 e a temperatura inicial do gel era a mesma do ambiente. Os resultados obtidos são mostrados na Fig. 7.4.

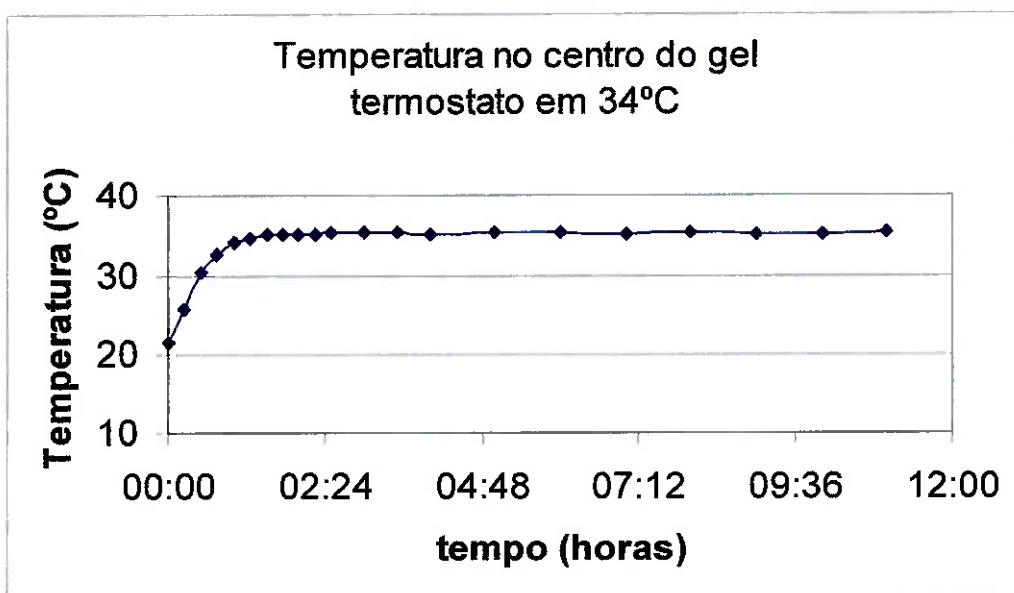


Figura 7.4 - Resultados Obtidos.

O tempo para a temperatura do gel se estabilizar foi de aproximadamente 1 hora. No período de 11 horas de funcionamento sua temperatura oscilou entre 35,0°C e 35,4°C. Esta diferença é aceitável para o conforto térmico do paciente.

8. CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados obtidos nos testes com o protótipo do equipamento desenvolvido neste projeto de formatura, pode-se concluir que o dispositivo está apto a desempenhar suas funções em um ambiente hospitalar. Este aquecedor de gel para ultra-sonografia não deixa nada a desejar para os equipamentos já existentes no mercado em matéria de eficiência e qualidade, e ainda conta com a vantagem de ser totalmente nacional e com um custo de fabricação atraente.

9. BIBLIOGRAFIA

INCROPERA, F.P. & DeWITT, D.P. – *Fundamentos de transferência de calor e de massa*. 4^a ed. Rio de Janeiro, Ed. LTC, 1998.

SONNTAC, R.E.; BORGNAKKE, C. & VAN WYLEN, G.J. – *Fundamentos da termodinâmica*. 5^a ed. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 1998.

Atividades		Mês	Mês																										
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
		Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro																								
Estudo do caso	Visita ao Hospital em Barretos																												
	Analise do Gel																												
	Estudo de equipamentos similares no mercado																												
	Desenvolver alternativas (brainstorm)																												
	Planejamento do controle térmico																												
Projeto do Produto	Aquisição dos componentes																												
	escolha dos materiais																												
	desenvolvimento de um modelo																												
	constução																												
	ajustes																												
Análise de custos	custos de produção																												
	custos operacionais																												
	relatório parcial																												
Formalização do projeto	relatório final																												

qualidade

ANEXO B

Exemplos de produtos similares no mercado:



Ideal Gel Warmer GW-308A
Preço US\$259,00



Echosonics Couplant Warmer
Preço US\$210,00



**Ideal Gel Warmer Adjustable
w/Four 8oz. Empty Bottles**
Preço US\$190,00



Thermasonic® Gel Warmer
Preço US\$229,00

ANEXO C

Equipamento de ultra-som.



Bisnagas de gel usadas no exame de ultra-sonografia.



Gel usado no exame ultra-sonográfico

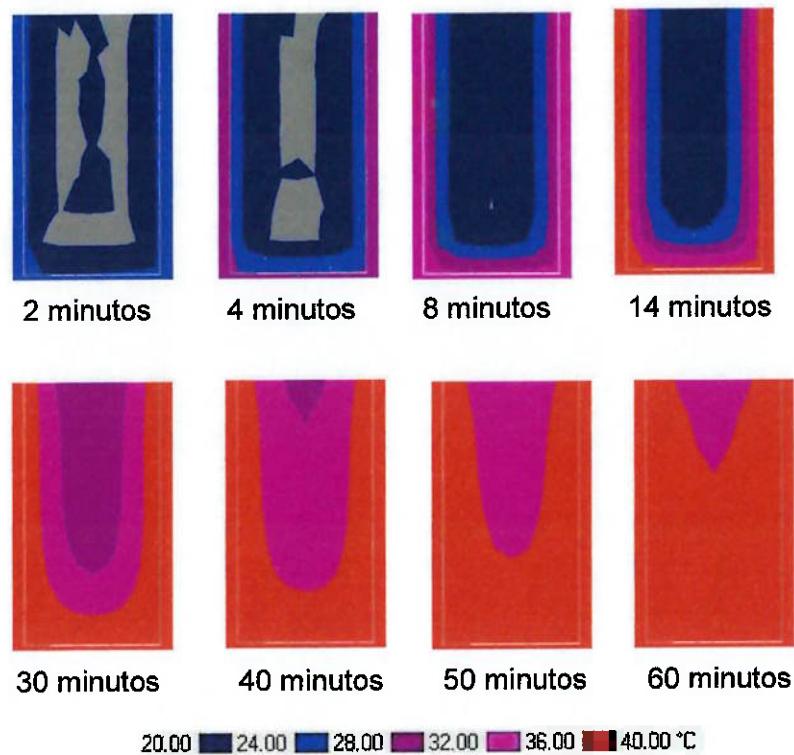
ANEXO D

Matriz de decisão:

SOLUÇÃO	Facilidade de construção	Custo de produção	Facilidade de operação	Interferencia ambiental	Velocidade de aquecimento	Capacidade de aquecimento	total
	2	2	2	3	1	1	
Aquecedor à seco 3 bisnagas	3	2	5	4	4	4	40
Aquecedor à seco unitário	5	4	5	5	4	1	48
Aquecedor tipo manta	2	4	3	1	3	1	26
Aquecedor em banho maria	5	4	3	1	5	5	37
Dosador aquecedor	2	1	3	4	5	5	34

ANEXO E

Simulação em elementos finitos para a bisnaga cheia



Simulação em elementos finitos para a bisnaga metade cheia

