

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

Carrinho para Transporte de Iodo-131 Radioativo

Pedro Evanil Zanelatto e Silva

São Paulo
2008

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

Carrinho para Transporte de Iodo-131 Radioativo

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

Pedro Evanil Zanelatto e Silva

Orientador: Marcelo Massarani

São Paulo
2008

Silva, Pedro Evanil Zanlatto e
Carrinho para transporte de Iodo-131 radioativo / P.E.Z. e
Silva. -- São Paulo, 2008.
50 p.

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

1.Radiação 2.Veículos 3.Hospitais Públicos I.Universidade
de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia
Mecânica II.t.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, por terem me proporcionado em vida a educação e o amor necessário para que me tornasse a pessoa que sou hoje. Sem o exemplo de vocês, nada do que fiz até hoje seria possível. É preciso também agradecer Arthur, meu irmão e companheiro, que sempre esteve ao meu lado, com sua alegria e jeito simples de ver a vida.

Agradeço também ao corpo discente da Escola Politécnica da USP, em especial aos professores, Marcelo Alves, Roberto Ramos, Antônio Luis Mariani e Marcelo Massarani, orientador deste trabalho, que marcaram minha passagem pela instituição como exemplos a serem seguidos.

Também, agradeço aos meus amigos, em especial aos participantes do projeto Baja, que sempre me apoiaram e me ajudaram a crescer e chegar ao ponto em que cheguei. Sem vocês, a minha experiência na graduação não teria sido a viagem marcante que foi.

Finalmente, agradeço a Deus, sempre presente, me dando a confiança necessária para vencer cada novo desafio.

A todos, meu muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a exposição de um projeto e construção de um protótipo de carrinho blindado para transporte de Iodo-131 radioativo, utilizado em tratamento de pacientes de câncer do Hospital do Câncer de Barretos, pertencente à Fundação Pio XII. O texto está centrado na resolução do problema de transporte interno dos isótopos no hospital, bem como os métodos utilizados na obtenção das soluções as normas e teorias necessárias na fabricação da blindagem e as etapas da construção do protótipo. Assim, o autor tem como objetivo, através deste texto, deixar registradas todas as etapas do desenvolvimento do projeto para futuras consultas e futuras melhorias, de modo a facilitar uma consulta futura devido ao desenvolvimento de um novo protótipo.

ABSTRACT

This report has as objective the exposition of the design and construction of a prototype of a shielded car for radioactive Iodide-131 transportation, used on the treatment of cancer patients at the Hospital do Câncer de Barretos, part of the Fundação Pio XII. The text is centered on the solution of the problem of intern transportation of the isotopes on the hospital, as also it contains the methods used while obtaining the solutions and the standards and theories necessary for the fabrication of the shielding, and the steps on the construction of the prototype. So, the author has as objective, through this text, to leave registered all the steps of the development of the project to future consulting and improvements, so that it can facilitate future readings or the development of a new prototype.

SUMÁRIO

1- OBJETIVO	1
2- INTRODUÇÃO	2
2.1 -Caso atual	4
2.2 - Necessidades.....	7
3-DESCRIÇÃO DAS ETAPAS A SEREM DESENVOLVIDAS	9
3.1-Etapas.....	11
4-ANÁLISES E RESULTADOS PRELIMINARES	13
4.1-Contato com Cliente	13
4.2-Levantamento de soluções	13
5-ESCOLHA DE SOLUÇÕES.....	16
5.1-Blindagem.....	16
5.2-Carrinho	16
6-DESENVOLVIMENTO PRELIMINAR	18
7 -DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	21
7.1-Blindagem.....	21
7.2-Tampa e Mecanismo de abertura.....	23
7.3 – Reprojeto da blindagem	25
7.4- Desenvolvimento do Cofre Grande	28
8- LEVANTAMENTO DE CUSTOS	31
9- FABRICAÇÃO	32
9.1 – Compra de Materiais.....	33
9.2- Construção	34
9.2.1- Usinagem do Chumbo	34
9.2.2- Montagem do cofre menor	34
9.2.3- Colagem do chumbo no cofre maior	35
9.2.4-Montagem do mecanismo de abertura.....	36
10- DISCUSSÃO	37
11-CONCLUSÕES	42
12- BIBLIOGRAFIA	43
Anexo A	44
Anexo B	45
Anexo C	53

Índice de figuras

Figura 1 - Carrinho atual.....	4
Figura 2 - Castelo.....	5
Figura 3 - Móveis encapados com plástico, para facilitar descontaminação.....	6
Figura 4 - Cronograma atual.....	10
Figura 5 - Esboço de dimensões o cofre.....	19
Figura 6 - Fundo do cofre, com recortes nas laterais.....	21
Figura 7 - Lateral do cofre, também com recortes.....	21
Figura 8 - Frente do cofre, com recortes.....	22
Figura 9 - Cofre montado, com castelos em seu interior, para aferição do espaço existente.....	22
Figura 10 - Mecanismo de abertura da tampa no software Working Model 2D, estado fechada.....	23
Figura 11 - Mecanismo de abertura da tampa no software Working Model 2D, estado aberto.....	23
Figura 12 - Pontos do mecanismo da tampa, quando fechado. Valores em mm. A origem é coincidente com a extremidade inferior do cofre.....	24
Figura 13 - Carrinho, já com mecanismo, em estado fechado.....	24
Figura 14 - Carrinho, já com mecanismo, em estado aberto.....	25
Figura 15- Novas paredes do cofre com parede 6mm.....	28
Figura 16 - Carrinho completo.....	29
Figura 17 - Carrinho com mesa.....	32
Figura 18 - Exemplo de gabarito para soldagem do mecanismo de abertura.....	36
Figura 19 - Carrinho pronto, vista lateral.....	38
Figura 20 - Carrinho pronto, vista frontal.....	38
Figura 21 - Mecanismo de abertura em funcionamento.....	39
Figura 22 - Detalhe do chumbo no cofre menor.....	39
Figura 23 - Cofre maior.....	40
Figura 24 - Detalhe chumbo cofre maior.....	40
Figura 25 - Aparência interna do cofre maior.....	41

1- OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo o projeto e a construção de um protótipo de carrinho blindado para transporte de Iodo-131 radioativo, utilizado em tratamento de pacientes de câncer do Hospital do Câncer de Barretos, pertencente à Fundação Pio XII.

2- INTRODUÇÃO

Hoje, o Hospital do Câncer de Barretos conta com 150 médicos e mais de 1400 funcionários, atende 1296 municípios dos 27 estados do Brasil com 2400 atendimentos/dia sendo 98% via SUS (não pagam absolutamente nada). Está equipado com os mais sofisticados equipamentos necessários para prevenção, diagnóstico e tratamento, contando com uma equipe medica altamente qualificada e transmultidisciplinar. Para acolher os pacientes que não podem se hospedar em hotel, o hospital mantém 10 alojamentos para adultos com toda infra-estrutura para mais de 600 pessoas e um alojamento especial para crianças. Diariamente 6.000 refeições são servidas além de 2.000 Kg de roupa lavada.

Apesar do déficit mensal em torno de R\$ 2.000.000,00 (dois milhões de reais), o hospital mantém suas portas abertas, graças ao apoio e à solidariedade de inúmeras cidades que se organizam para dar as condições financeiras que a instituição necessita. Salientamos também que artistas, iniciativa privada e mais recentemente a classe política, têm contribuído para que se possa devolver esperança de vida a todos que o procuram.

Por estas e muitas outras razões o projeto Poli Cidadã é parceiro da Fundação Pio XII, já tendo obtido alguns equipamentos que auxiliam no dia a dia de pacientes e funcionários desta instituição, sendo este trabalho um desses frutos.

O protótipo a que este trabalho se dispõe visa auxiliar no tratamento de pacientes com câncer através de radioterapia.

Radioterapia é uma especialidade médica focada no tratamento oncológico utilizando radiação. Há duas maneiras de utilizar radiação contra o câncer:

Teleterapia: utiliza uma fonte externa de radiação com isótopos radioativos ou aceleradores lineares;

Braquiterapia: que é o tratamento através de isótopos radioativos inseridos dentro do corpo do paciente onde será liberada a radiação ionizante.

O carrinho exigido para este trabalho faz referência ao segundo tipo de tratamento. A Braquiterapia é uma forma de radioterapia na qual a fonte de radiação é colocada no interior ou próxima ao corpo do paciente. Materiais radioativos, geralmente pequenas cápsulas, são colocadas junto ao tumor liberando doses de radiação diretamente sobre

ele, afetando ao mínimo os órgãos mais próximos e preservando os mais distantes da área do implante.

No caso em questão, o carrinho se torna necessário para transportar os isótopos pelo hospital de sua área de armazenamento, até os pacientes em questão. Estes irão ingerir as cápsulas por via oral, de forma que o tratamento possa prosseguir. Porém, durante o transporte dos isótopos, estes entram em contato indireto não só com o transportador e pacientes a quem são destinados, mas também médicos, enfermeiros, técnicos, visitantes e outros pacientes, sendo necessária uma proteção maior para estas pessoas.

Atualmente, o transporte é feito com o auxílio de um carrinho pouco diferente de um exemplar de supermercado, forrado unicamente com plástico, para facilitar a descontaminação após seu uso. Além disso, durante o transporte, torna-se necessário passar por elevadores com o carrinho, situação em que a blindagem se mostra ainda mais necessária.

As necessidades gerais bem como os dados referentes ao carrinho e elementos a serem transportados foram colhidos durante uma visita ao Hospital do Câncer de Barretos, durante a qual foi possível acompanhar todo o processo no qual o protótipo estará envolvido. Além disso, as instalações do hospital, seus corredores e salas de armazenagem de materiais radioativos foram também observadas, de forma a possibilitar uma visão o mais geral possível da tarefa.

2.1 -Caso atual

Como informado anteriormente, atualmente o transporte dos isótopos radioativos é feito com carrinho pouco diferente de um exemplar de supermercado. O mesmo pode ser visualizado na figura 1.



Figura 1 - Carrinho atual

Em uma utilização do carrinho pode ser necessário transportar até oito castelos, que são recipientes blindados onde as cápsulas com o isótopo são armazenados. Estes podem ser visualizados na figura 02. Consistem de recipientes de plástico com uma blindagem interna de chumbo. No entanto esta blindagem não se mostra suficiente para conter a radiação. As dimensões destes receptáculos são de 75 mm de diâmetro, em sua parte mais larga, e 110 mm de altura. Sua massa total é de 3,5 kg.



Figura 2 - Castelo

Durante o carregamento, o carrinho precisa permanecer o mais próximo possível da área de armazenamento de castelos, necessitando assim passar por uma porta de aproximadamente 1m de largura. Após seu carregamento e catalogação de cada amostra, que é destinada individualmente a cada paciente, o carrinho passa por uma sucessão de largos corredores, que não apresentam grandes dificuldades em termos de espaço. Atravessa também uma pequena área semi-externa, sendo o piso neste caso um pouco mais rústico, o que pede um maior cuidado.

Em seguida, chega-se a um grande elevador de serviço. Em geral, o mais correto seria que a carga subisse sozinha no elevador, evitando assim maior contaminação do transportador, bem como uma situação difícil em caso de quebra do elevador. No entanto, foi observado que o responsável entra junto do carrinho no elevador, por questão de zelo para com a carga e comodidade do mesmo.

Após isso, caminha-se por mais uma região de corredores largos que beneficiam a circulação de pessoas e materiais, e chega-se aos quartos destinados aos pacientes em tratamento de braquiterapia. Estes quartos são isolados do resto dos pacientes, para evitar contaminação, além de serem literalmente encapados de plástico, com o intuito de evitar contaminação dos móveis e equipamentos do dormitório através do contato com os pacientes. Isto pode ser observado na figura 03.



Figura 3 - Móveis encapados com plástico, para facilitar descontaminação

Então é feita a administração da cápsula aos pacientes. Após isso, o carrinho e os castelos utilizados são levados a uma outra área do hospital, isolada, onde os castelos são deixados por seis meses para descontaminação. Esta área é blindada por paredes grossas de concreto, e recebem também os utensílios pessoais dos pacientes utilizados durante o tratamento, como lençóis e toalhas. Além disso, caso o paciente passe mal e regurgite, este rejeito também é levado para este depósito, esperando seis meses por sua descontaminação.

2.2 - Necessidades

Durante a visita e observação da rotina de tratamento no Hospital do Câncer de Barretos, foram vistas algumas necessidades que o protótipo precisa atender. Para que o carrinho atenda as exigências necessárias, viabilizando seu uso, será elaborada aqui uma lista dos aspectos que o protótipo deva possuir.

- **Blindagem:** esta deve ter uma espessura mínima, sendo a recomendada pelo beneficiado 50 mm. O material a ser utilizado, primeiramente será o chumbo, no entanto, a possibilidade de utilizar outros materiais está aberta, caso os mesmos se mostrem viáveis em termos financeiros, práticos e de eficiência;

- **Armazenagem:** durante o transporte, o carrinho precisa ser capaz de armazenar no mínimo até oito castelos ao mesmo tempo, em seu cofre blindado. Além disso, mostrou-se necessário um recipiente maior, com menor ou mesmo sem blindagem, para armazenagem dos rejeitos e utensílios pessoais dos pacientes após o tratamento, quando os mesmos forem levados para o depósito de descontaminação;

-**Peso:** por se tratar de um protótipo sem motor, o veículo deve se mostrar capaz de ser movido apenas com a força do operador.

A seguir, foi feito um breve estudo para determinação do peso máximo do carrinho.

No Brasil existem normas regulatórias (MINISTÉRIO DO TRABALHO. *Norma Regulamentadora n° 17. Ergonomia; Portaria 3.214 de 8/6/78*. Brasília, 1978) para determinar limites de cargas para carregar objetos (40 a 60 kg), mas não para o ato de empurrar, sendo aconselhado para este o uso de limite de acordo com o trabalhador.

No entanto, pode-se utilizar uma aproximação para o cálculo do limite de esforço, e, portanto, o peso máximo do carrinho. Sabendo potência máxima útil do motor humano varia com o tempo do esforço, sendo de 13,6 kgfm/seg para bicicleta estacionária durante 3 h. (AMORIM NETO, M.G. de Métodos diferentes de eliminação da insalubridade, determinação da força exercida pelo operário, e avaliação experimental da capacidade de resistência de estruturas simples. 1980).

Agora, impondo-se que o trabalhador utilizará esta potência a uma velocidade de 1 m/s, e que a utilizará com certeza por menos de 3 horas seguidas, ou seja, não será um trabalho que exigirá muito de seu corpo, obtemos:

$$F \cdot v = 13.6 \text{ kgf} \cdot \text{m/s}$$

$$v = 1 \text{ m/s}$$

$$F = 13.6 \text{ kgf} = 133.3 \text{ N}$$

Assim, utilizando a teoria de resistência ao rolamento para veículos automotivos (Gillespie, Thomas D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*), fazendo-se a aproximação do tipo de piso para concreto e que consideramos a roda do carrinho como um pneu cheio, ou seja, com sua máxima pressão, temos:

$$F = f_r \cdot W$$

$$f_r = 0.1 \text{ (fator de resistência ao rolamento)}$$

$$W = 1333 \text{ N}$$

Considerando-se $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, temos a massa máxima do carrinho:

$$M = 136 \text{ kg.}$$

-Rodas: devem ser grandes para possibilitarem a passagem por lugares difíceis, como valetas e buracos. Além disso, seria positivo que tivessem algum sistema de travamento para evitar movimentação do carrinho quando a carga estiver sendo manuseada. Durante a visita ao hospital, fora constatadas depressões de até 5 mm de profundidade. Assim, um diâmetro mínimo de 100 mm das rodas é estimado, possibilitando uma passagem segura por estes obstáculos;

-Porta do cofre: deve ser de fácil abertura, talvez com mecanismo, pois é provável que a mesma tenha um grande peso. Além disso, um mecanismo de travamento nas duas posições (aberto e fechado) se mostra necessário. Foi estimado um valor máximo de 2,5 kgf para esta tarefa, bem abaixo dos valores discutidos no item sobre o peso máximo do carrinho. Este valor foi escolhido, pois não apresenta um grande esforço para qualquer usuário médio, inclusive considerando que não será efetuado este movimento com muita regularidade. Assim, um maior aprofundamento neste quesito mostrou-se desnecessário.

3-DESCRIÇÃO DAS ETAPAS A SEREM DESENVOLVIDAS

Em 2007 foi feita uma proposta de cronograma, no entanto, durante visita ao cliente e conversa com o orientador do projeto, foram decididas mudanças no andamento do projeto, o sentido de facilitar o andamento do mesmo, e possibilitar a entrega de um protótipo o mais cedo possível, em vista de auxiliar mais rapidamente a Fundação Pio XII, bem como possibilitando acompanhamento no uso do carrinho, possibilitando futuro melhoramento do projeto.

Tendo isto em vista, é apresentado o novo cronograma, visualizado na página a seguir.

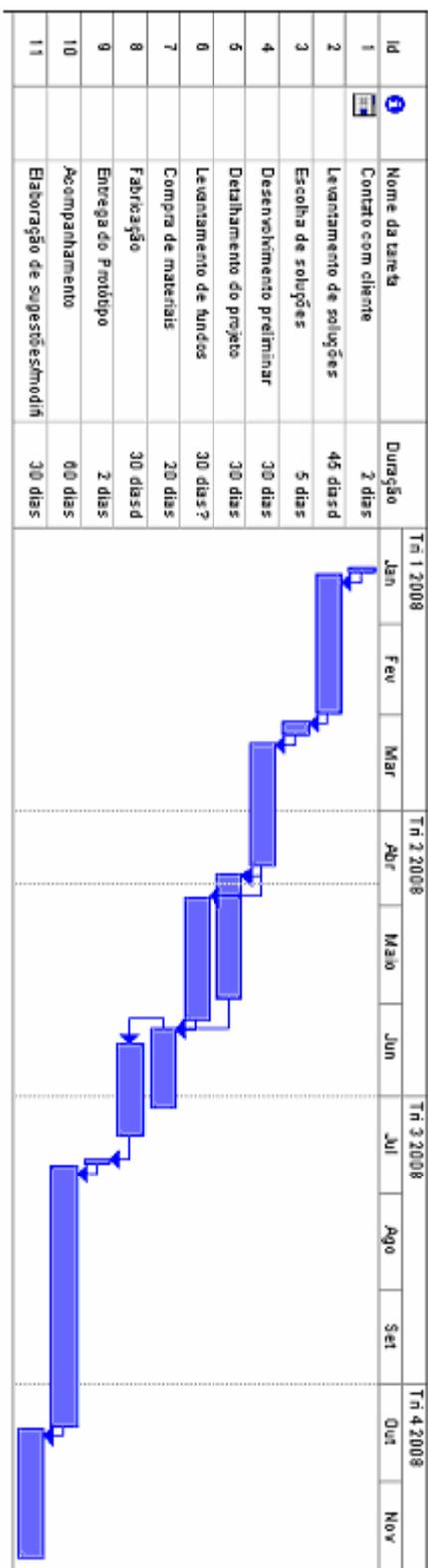


Figura 4 - Cronograma atual

3.1-Etapas

Contato com cliente

Visita até a Fundação Pio XII, com o intuito de observar e compreender melhor as necessidades reais vinculadas ao projeto

Levantamento de possibilidades

Um levantamento das possibilidades de projeto, obtendo assim, através de pesquisa e diálogo com cliente, soluções para os principais problemas a serem encontrados.

Escolha de projeto

Através de diálogo com cliente e orientador, bem como com a utilização de dados já coletados, a escolha das soluções a serem utilizadas no projeto.

Desenvolvimento preliminar

Desenvolvimento inicial das soluções escolhidas, com o intuito de levantar mais objetivamente as dificuldades e custos relacionados ao protótipo, de modo a facilitar o futuro levantamento de fundos.

Detalhamento de projeto

Detalhamento total do projeto, com o intuito de possibilitar sua fabricação.

Levantamento de fundos

Atividade conjunta com o orientador, para se obter fundos para a realização do protótipo.

Fabricação

Execução do projeto na forma de construção do mesmo

Entrega

Após breve período de testes, entrega do protótipo para utilização pela Fundação Pio XXII.

Acompanhamento

Acompanhamento da utilização do protótipo, bem como levantamento de sugestões, problemas, pontos positivos e negativos.

Elaboração de sugestões/modificações

Elaboração de sugestões para futuras modificações do projeto, ou caso seja possível, efetuar modificações no protótipo já existente.

4-ANÁLISES E RESULTADOS PRELIMINARES

Atualmente, as atividades já terminadas foram desde a visita ao cliente até o desenvolvimento preliminar, tendo sido levantado o custo provável do projeto. A seguir, pode-se observar o detalhamento do trabalho desenvolvido em cada uma delas até o momento.

4.1-Contato com Cliente

Através do resumo e introdução deste relatório, pode-se entender os resultados obtidos da visita à Fundação Pio XXII, dentre elas conhecimento das necessidades reais do projeto, bem como dados iniciais e estudo do caso atual, do carrinho utilizado hoje por eles.

4.2-Levantamento de soluções

Inicialmente, o projeto foi dividido em dois problemas, tendo sido visto necessário a solução destes para melhor prosseguimento do projeto. São estes os problemas da blindagem e do carrinho em si, tendo sido levantadas as seguintes hipóteses para cada um.

Blindagem

Material: Chumbo

Foi requisitada pelo beneficiado uma espessura mínima de 50 mm para o cofre de chumbo. Segundo o beneficiado, esta espessura é conseguida através de uma fórmula que inclui todos os tipos de radiações possíveis.

Além disso, optou-se por fazer um cofre com o menor volume possível, capaz de carregar pouco mais que os oito castelos requisitados. No entanto, para efeito de fabricação deste cofre, foram levantadas duas possibilidades:

-Fundição a partir de molde e modelo, onde seria necessário recorrer a uma casa de fundição que trabalhe com chumbo, bem como a produção de um modelo do cofre, com as respectivas dimensões próprias para a fundição;

-Fabricação a partir de placas de chumbo, onde as mesmas poderiam ser unidas por fundição ou solda, ou mesmo através de elementos mecânicos, desde que a blindagem não fosse prejudicada.

Carrinho

Foram levantadas duas hipóteses para a obtenção de um carrinho. A primeira seria o projeto e construção de algo novo, especialmente pensado para o caso em questão. A segunda foi obter um carrinho já disponível no mercado, que atendesse as necessidades do protótipo. Durante a pesquisa, foram obtidos os seguintes modelos:



Carro Plataforma

Comprimento: 1000 (mm)
 Largura: 600 (mm)
 Altura: 1000 (mm)
 Capacidade de carga: 300 Kg.
 Rodízios de 6" com roda de borracha maciça de 6" com rolamento esfera.

Carro 47-II



Carro bandeja 47-II

Comprimento: 900 (mm)
 Largura: 600 (mm)
 Altura: 900 (mm)
 Capacidade de carga: 300 kg
 Rodízios de 4" sendo dois giratórios e dois fixos.
 Rodas de borracha termoplástica.

Carro Tela

Carro tela 500 Kg.



Dimensões:
 Comprimento: 1200 (mm)
 Largura: 650 (mm)
 Altura: 650 (mm)
 Capacidade de carga: 500 Kg.
 Rodízios de 6" sendo dois giratórios e dois fixos.

Para as soluções para outras questões, como a porta do cofre, os freios e espaço de armazenagem dos rejeitos, foi decidido que o melhor seria aguardar a decisão em relação aos dois primeiros tópicos, para que fosse possível proceder com um projeto conciso.

5-ESCOLHA DE SOLUÇÕES

5.1-Blindagem

Considerando pesquisa infrutífera feita na área de casas de fundição que trabalhassem com chumbo, pois as mesmas em geral eram de pequeno porte, utilizando chumbo menos puro e peças para bijuterias, sendo que seus fornos não possuíam espaço suficiente para a produção do cofre. Além disso, o preço era extremamente alto, chegando a R\$ 63,00/kg de chumbo fundido, inviabilizando a utilização do método. A solução escolhida terminou por ser a da montagem por placas, tendo, no entanto, o projetista a obrigação de reavaliar o projeto em caso da constatação de blindagem ineficaz. Essa escolha foi discutida com o beneficiado, que não observou grandes problemas nesta escolha, lembrando, porém, da necessidade de uma blindagem funcional.

5.2-Carrinho

Após a avaliação dos veículos apresentados na pesquisa, foi feita uma tabela de decisão para auxiliar na escolha do carro. A seguir, a tabela, seguida de explicações dos quesitos avaliados.

Tabela 01: Decisão do carrinho

	Peso do Quesito	Plataforma	Bandeja	Tela
Carga máxima	3	3	3	5
Espaço para rejeitos	1	4	4	5
Rodas	2	5	4	5
Posição do cofre	2	4	2	3
Preço	2	5	4	1
Total	10	41	33	38

Considerando notas de 1 a 5, sendo quanto maior a nota, melhor posicionado o carro no dado quesito. A seguir, explanação referente aos detalhes avaliados.

Carga máxima: avalia a capacidade de carga do carrinho. Quanto mais peso puder carregar, melhor, devido à densidade do chumbo, e também dos carregamentos extras, dos rejeitos dos pacientes.

Espaço para rejeitos: avalia o espaço físico para os rejeitos dos pacientes, bem como a facilidade para colocá-los no carrinho.

Rodas: Avalia o tamanho das rodas, para facilitar na passagem por obstáculos.

Posição do cofre: avalia a facilidade de posicionamento do cofre, de modo que o mesmo permaneça longe do operador, bem como de fácil acesso.

Preço: Avalia o custo do carro. Assim, quanto menor o preço, melhor a nota no quesito.

Dessa maneira, com uma nota de 41, a solução vencedora é o **carro plataforma**.

6-DESENVOLVIMENTO PRELIMINAR

O desenvolvimento preliminar foi utilizado, basicamente, para a validação da espessura de 50 mm da blindagem. Inicialmente pesquisando nas bibliotecas e banco de dados da USP, esta pesquisa se mostrou muito infrutífera em termos de dados objetivos, bem como as formulações encontradas geralmente faziam uso de recursos computacionais e fórmulas e conhecimentos especializados da área de física médica.

A CNEN estabelece uma dose inferior a 20 mSv para todo o corpo por ano, supondo que o trabalhador passe 20 minutos por semana controlando o carro (ano = 16 horas), pois não é todo dia que o tratamento é feito, transportando 600 mCi de I-131, valor fornecido pelo beneficiado.

Utilizando então a fórmula para blindagem contra radiação, encontrada no livro *An Introduction to Radiation Protection*, de Martin A.:

$$D_t = D_o \cdot e^{-\mu \cdot t} \quad (1)$$

D_t-Dosagem após blindagem

D_o-Dosagem sem blindagem

μ-Coefficiente de absorção linear do material (chumbo) em relação à energia incidente.

t- espessura

HVL-half value layer (I131-Pb)=3mm (anexo A)

$$D_t = D_o \cdot e^{-\mu \cdot t}$$

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\mu}$$

$$\mu = 0,231 \text{mm}^{-1}$$

Pensando então no valor que fornecido pelo beneficiado referente à dose a ser carregada:

$$600 \text{mCi} \cdot 37 \frac{\text{MBq}}{\text{mCi}} = 22200 \text{MBq}$$

7.647E-5 mSv/hr por MBq a 1.0 metro de distância (anexo A)

Assim, temos uma radiação de 1.698 mSv/hr para os 600mCi descritos.

Dessa maneira:

$$1,698 \frac{mSv}{h} \cdot 16h = 27.162mSv$$

Assim:

$$D_0 = 27.162mSv$$

$$20mSv = 27.162mSv \cdot e^{-0,231 \cdot t}$$

$$t = 0,58mm$$

Isto ao se considerar sempre à distância de 1.0 m dos emissores radioativos.

Assim, a conclusão preliminar é de que não seria necessária uma espessura tão grande como a requisitada. O fato já foi direcionado ao beneficiado, para uma possível diminuição da espessura do cofre, o que acarretaria numa grande redução no custo do projeto. A conclusão tirada da resposta pode ser vista no item 7.3 deste relatório, “Reprojeto da blindagem”. No entanto, para melhor demonstrar o andamento real do projeto, serão primeiramente mostradas as soluções levando em consideração a espessura de 50 mm proposta inicialmente. Foi tomado cuidado, no entanto, para que fosse possível mudar a espessura do projeto de modo simples.

Após estes cálculos, foi feito um esboço inicial do cofre em questão, como visto na figura 5.

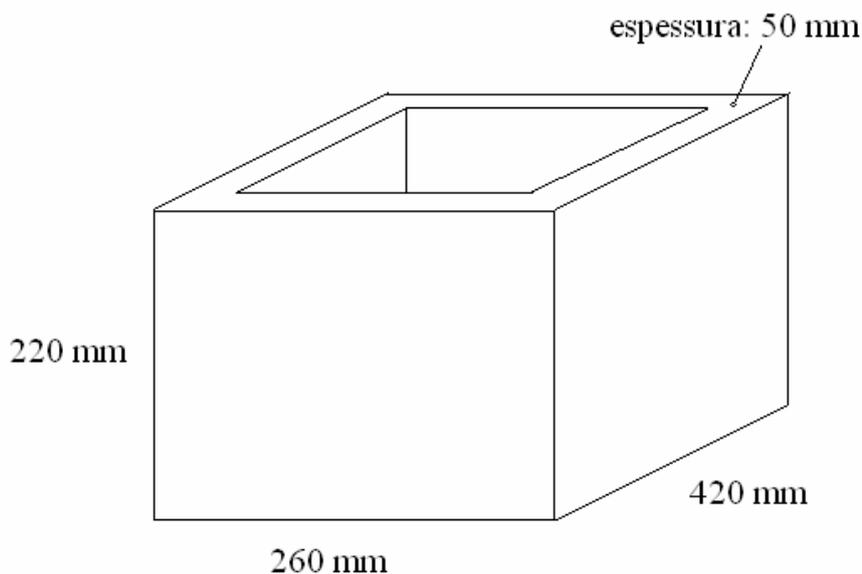


Figura 5 - Esboço de dimensões o cofre

Chegou-se a um volume de material de 0,01788 m³ (contando com tampa). Considerando a densidade do chumbo 11340 kg/m³, obtém-se um peso do cofre de

202,76 kg. Observando que o carrinho escolhido possui capacidade de carga de 300 kg, torna-se viável sua utilização, mesmo totalmente carregado, pois 8 castelos pesam no máximo 28 kg (3,5 kg por castelo). Assim, em pesquisa de mercado pelo preço de placas de chumbo, encontrou-se o valor de R\$ 13,70 /kg, em média. Portanto, o preço do material para o cofre ficaria em torno de R\$ 2777,80.

Assim, somando-se a isso o preço do carrinho por volta de R\$ 470,00, o custo parcial do protótipo ficaria em torno de:

- **R\$ 3247,80**

Mostra-se, portanto como um protótipo de custo elevado, principalmente devido ao preço do chumbo, utilizado no cofre. Assim, torna-se imprescindível a arrecadação de recursos para que o projeto seja concluído.

7 -DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

7.1-Blindagem

Para o problema da blindagem, como foi discutido anteriormente, decidiu-se pela utilização de placas de chumbo. Para maior segurança da blindagem, serão feitos cortes nas placas a serem montadas, em formato de “L”, para que assim exista uma maior proteção, como se pode ver nas figuras abaixo.

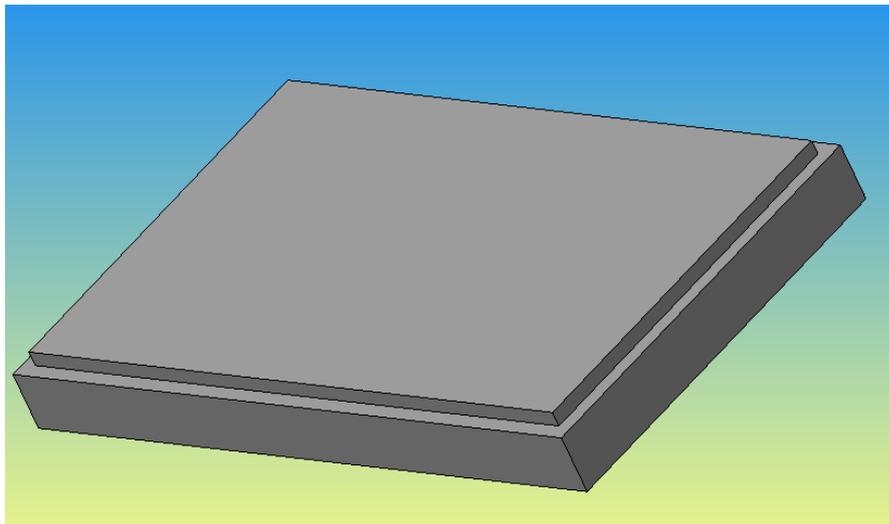


Figura 6 - Fundo do cofre, com recortes nas laterais

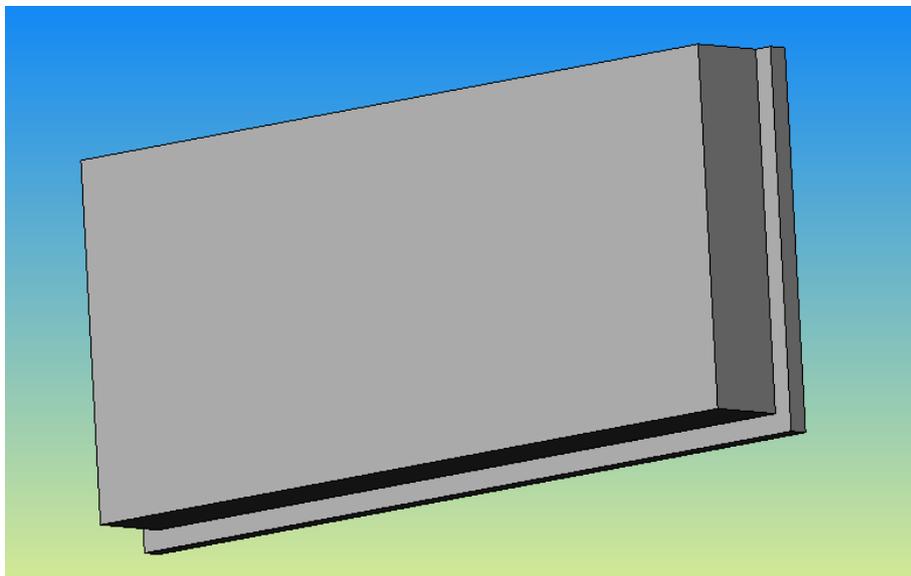


Figura 7 - Lateral do cofre, também com recortes

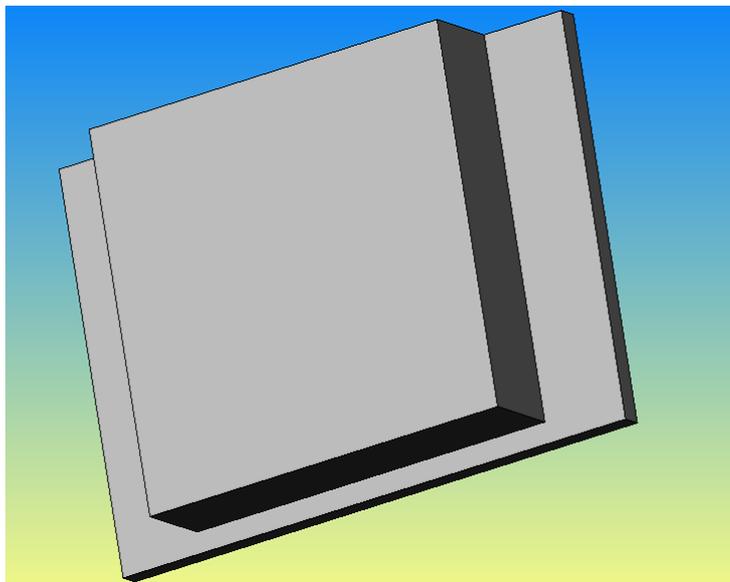


Figura 8 - Frente do cofre, com recortes

Como existe a preocupação de deixar o chumbo exposto, sendo ele um metal extremamente maleável e tóxico, foi decidido que como medida preventiva o cofre seria mantido dentro de uma caixa de madeira, com outra por dentro. Desta forma, não só a madeira isolaria o chumbo, como manteria o chumbo isolado, como também auxiliaria na montagem e sustentação do cofre, como pode ser visto na figura a seguir.

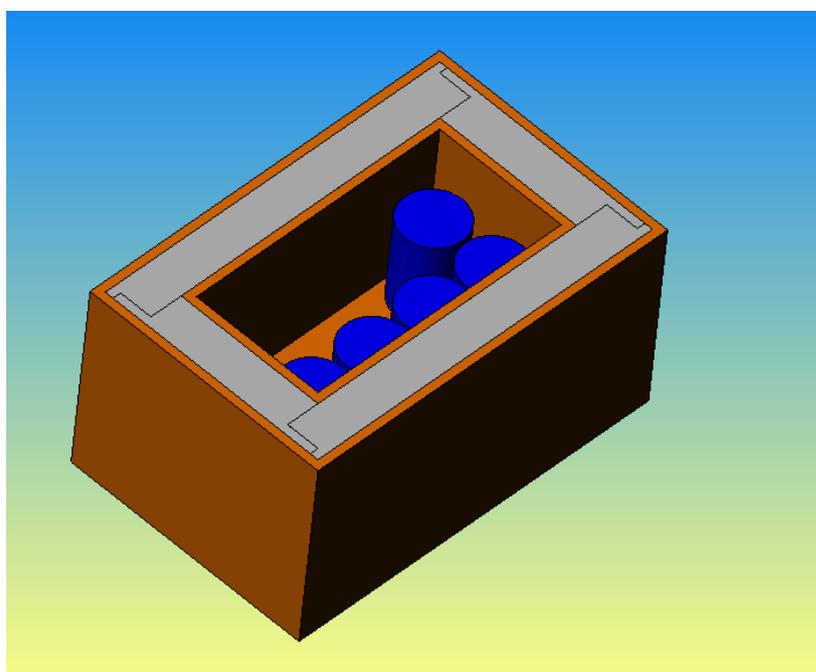


Figura 9 - Cofre montado, com castelos em seu interior, para aferição do espaço existente.

É importante salientar que as caixas de madeira precisam ser impermeabilizadas, tendo uma camada de fórmica em sua superfície, facilitando sua lavagem e evitando a contaminação.

7.2-Tampa e Mecanismo de abertura

Para se definir o mecanismo de abertura da tampa do cofre, foi utilizado o software Working Model 2D, para a definição das juntas do mesmo. Podem-se observar os resultados nas figuras a seguir.

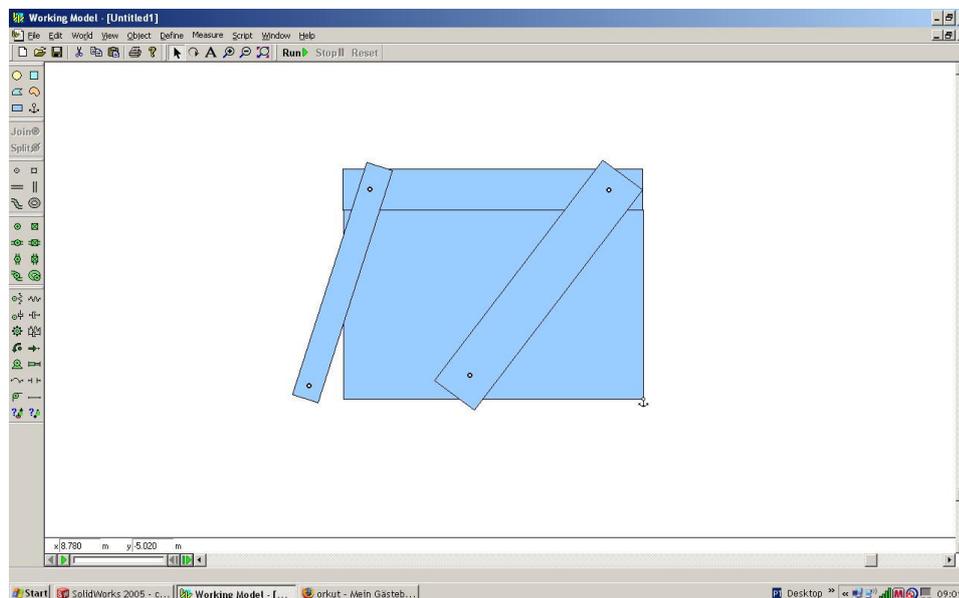


Figura 10 - Mecanismo de abertura da tampa no software Working Model 2D, estado fechada.

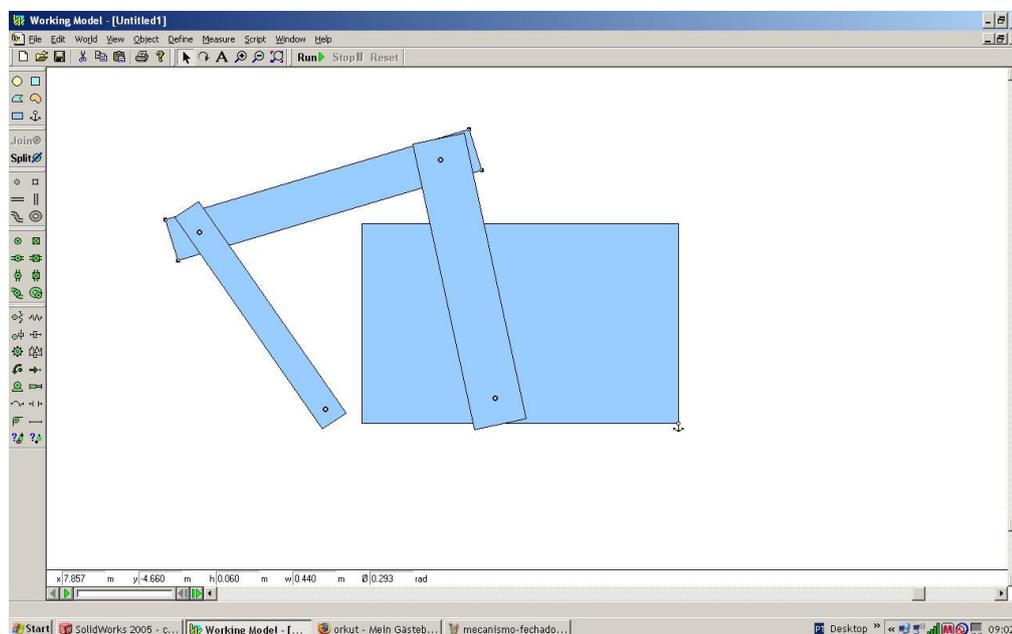


Figura 11 - Mecanismo de abertura da tampa no software Working Model 2D, estado aberto
O mecanismo e os pontos adotados condizem com o esquema a seguir.

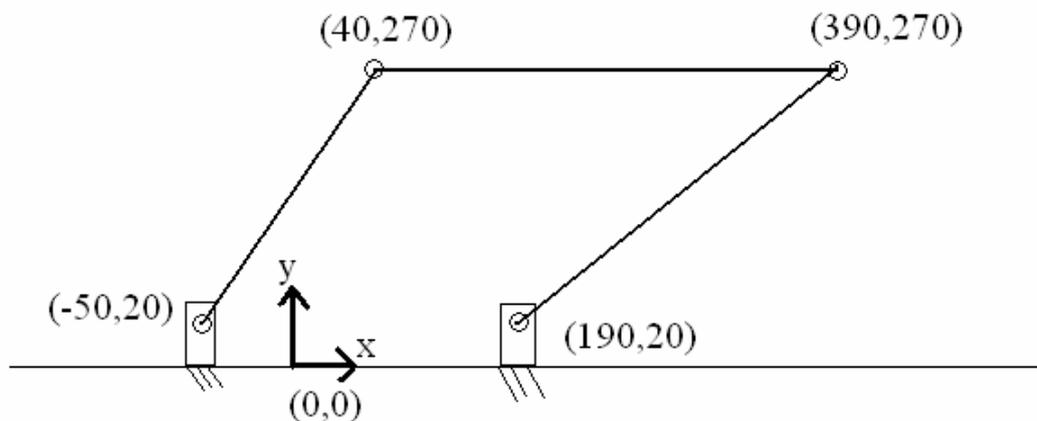


Figura 12 - Pontos do mecanismo da tampa, quando fechado. Valores em mm. A origem é coincidente com a extremidade inferior do cofre.

Para que as soluções até agora desenvolvidas fossem avaliadas, um desenho em CAD das peças até agora desenvolvidas foi feito. Com ele pôde-se verificar dimensões bem como o funcionamento do mecanismo proposto. O resultado pode ser observado nas figuras a seguir.

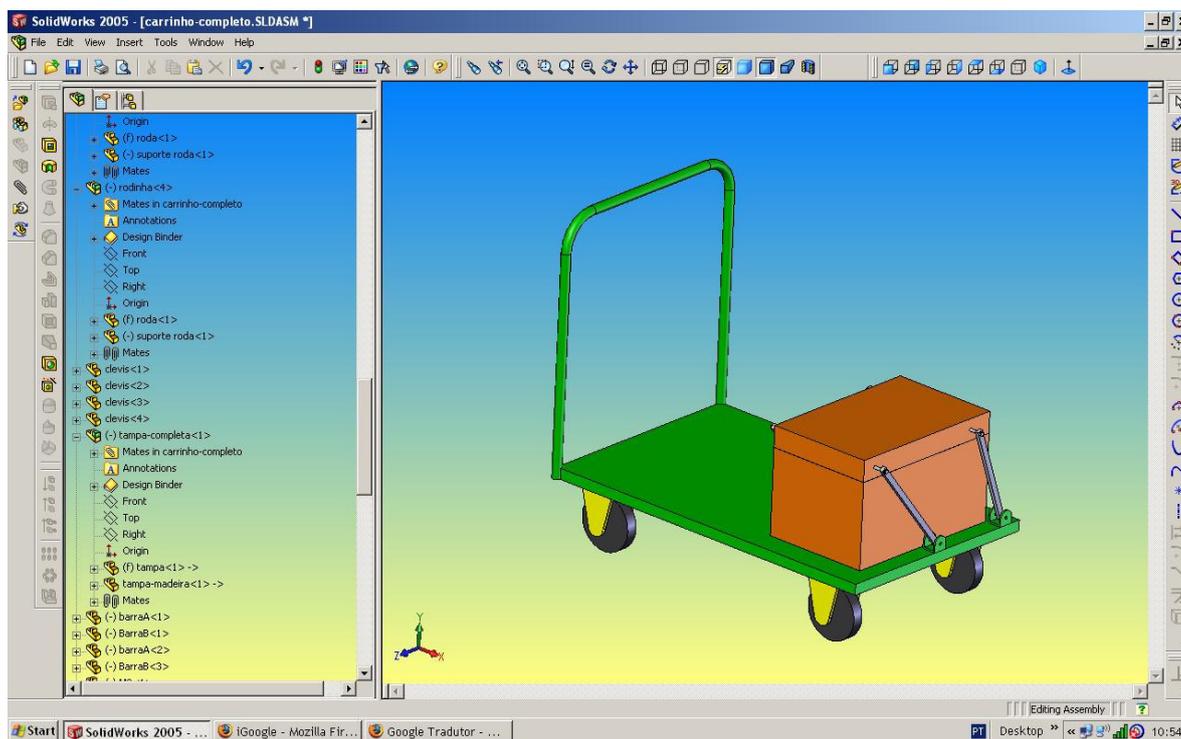


Figura 13 - Carrinho, já com mecanismo, em estado fechado.

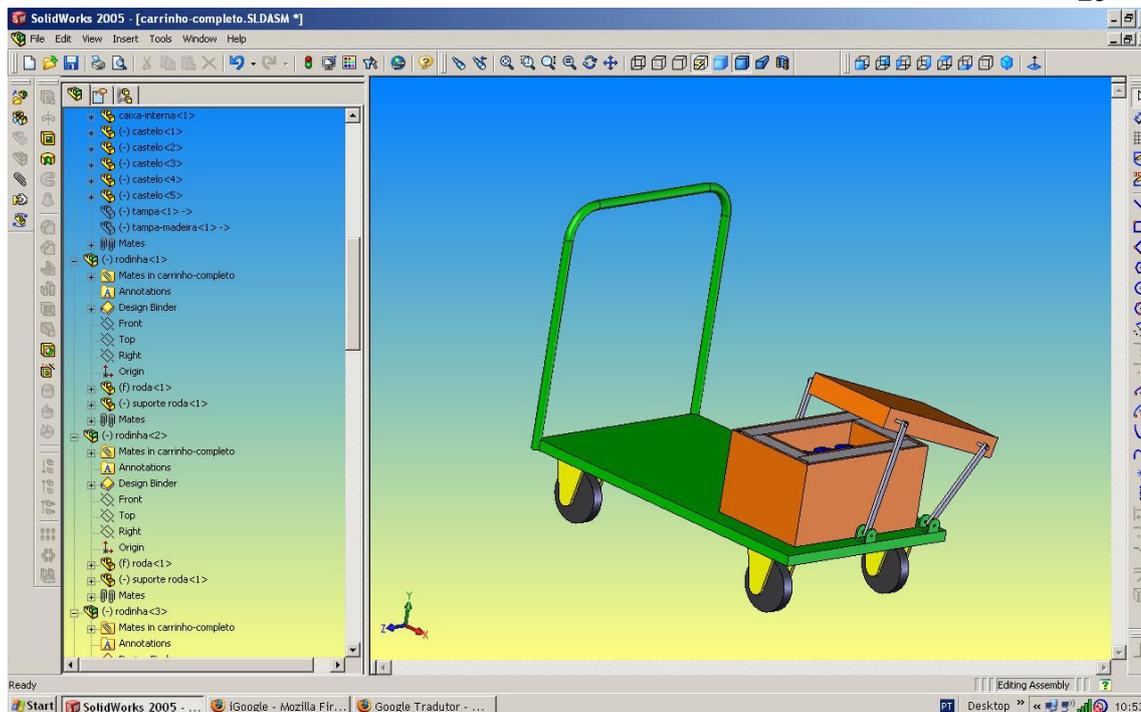


Figura 14 - Carrinho, já com mecanismo, em estado aberto.

Após o desenvolvimento do mecanismo inicial, foi desenvolvida a alavanca para acionamento do mesmo, bem como seu sistema de travamento. A escolha do tamanho do braço da alavanca teve como objetivo atender a especificação de projeto de que o este cofre fosse fácil de abrir, não excedendo o esforço de 2,5 kgf durante seu manuseio.

Considerando-se as dimensões do mecanismo desenvolvido no trabalho, de um quadrilátero articulado, é possível fazer as seguintes relações de alavanca, considerando a tampa com massa de 4.40 kg.

$$4.40\text{kgf} \cdot 258\text{mm} = F \cdot 497\text{mm}$$

$$F = 2.28\text{kgf}$$

Assim, percebe-se que o mecanismo atende o limite estipulado, tornando o ato de abrir o cofre mais fácil, com um braço de alavanca de 258 mm.

7.3 – Reprojeto da blindagem

O físico responsável pelo departamento de medicina nuclear, Marco Antônio, foi consultado com o intuito de validar os resultados nos cálculos da blindagem, bem como aferir a razão da discrepância entre o valor inicialmente proposto por ele (50 mm) e o atualmente conseguido através dos cálculos (0,6 mm). Com isso, foi constatado um erro em que o próprio físico havia estimado a HVL do Chumbo em 30 mm, exigindo assim uma espessura muito grande para o projeto.

Com isto em mente e discutindo os novos dados atualizados para a necessidade do projeto, os cálculos foram refeitos, sendo os mesmos mostrados a seguir.

Inicialmente, foi necessário obter a intensidade da radiação que o isótopo em questão emitiria. Foi considerado que o carrinho em questão transportaria no máximo um total de 800 mCi em emissões radioativas. Este valor foi obtido através do responsável pelo departamento de medicina nuclear do Hospital do Câncer de Barretos, o físico médico Marco Antônio de Carvalho. Este valor consiste no máximo de carga radioativa que seria levado até os quartos, assumindo que estes estariam em lotação máxima.

Utilizando então a fórmula para blindagem contra radiação, encontrada no livro *An Introduction to Radiation Protection*, de Martin A.:

$$D_t = D_o \cdot e^{-\mu \cdot t} \quad (1)$$

Do-Dosagem sem blindagem

Dt-Dosagem após blindagem

μ -Coeficiente de absorção linear do material (chumbo) em relação à energia incidente.

t- espessura

HVL-half value layer (I131-Pb)=3mm (obtido de Delacroix, D. et al. Radionuclide and Radiation Protection Handbook). Esta é a espessura de chumbo para a qual a radiação emitida pelo I-131 cai pela metade ao atravessá-la. Assim, é possível calcular μ :

$$D_t = D_o \cdot e^{-\mu \cdot t}$$

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\mu} = 3 \text{ mm}$$

$$\mu = 0,231 \text{ mm}^{-1}$$

A CNEN estabelece uma dose acumulada inferior a 20 mSv para todo o corpo por ano (*Posição regulatória 3.01/003 – Coeficientes de dose para indivíduos ocupacionalmente expostos – 11/2005*). Supondo que o trabalhador passe 20 minutos por semana controlando o carro (equivalente a 16 horas anuais), pois não é todo dia que o tratamento é feito, transportando sempre 800 mCi de I-131, sendo esta então a condição mais arriscada a qual o funcionário estaria exposto.

Fazendo a transformação da unidade de radiação emissora de Ci (Curie) para Bq (Bequerel), apenas uma unidade diferente para mensuração de radiação:

$$800mCi \cdot 37 \frac{MBq}{mCi} = 29600MBq$$

Para efetuar os cálculos na fórmula um, precisamos mais uma vez transformar as unidades, desta vez para Sv (Sievert), unidade referente à radiação absorvida pelo corpo, sendo relacionada aos efeitos biológicos da radiação, em oposição com seus efeitos físicos.

Utilizando o valor de 7.647E-5 mSv/hr por MBq a 1.0 metro de distância (Health Physics & Radiological Health Handbook, 3ª edição. Baltimore, MD).

Assim, temos uma radiação de 2.264 mSv/hr para os 800mCi descritos.

Dessa maneira:

$$2.264 \frac{mSv}{h} \cdot 16h = 36.216 mSv$$

Assim:

$$D_0 = 36.216 mSv$$

$$D_t = 20 mSv$$

Portanto:

$$20mSv = 36.216 mSv \cdot e^{-0,231 \cdot t}$$

$$t = 2.57mm$$

Assim, utilizando uma parede de 2.6 mm, já estaríamos atendendo condições de segurança contra a radioatividade do isótopo. Considerando ainda que o isótopo sempre é carregado em recipientes protetores com blindagem, chamados castelos, e que estes cálculos foram efetuados considerando a cápsula do isótopo desprotegida, este valor pode ser considerado superdimensionado. No entanto, foi requisitado pelo Hospital do Câncer de Barretos que a barreira no carrinho fosse capaz de reduzir a emissão radioativa para níveis até 30%.

Através de discussão com o físico responsável, Marco Antônio, decidiu-se pela utilização de uma barreira de 6 mm de espessura, o dobro da HVL. Assim seria obtida uma redução da emissão radioativa para 25% do inicial, descontando-se ainda os efeitos do castelo, recipiente blindado no qual a cápsula é carregada.

Portanto:

$t' = 6\text{mm}$. (espessura a ser utilizada)

Um novo desenho do cofre protetor foi feito, como pode ser observado na figura a seguir.

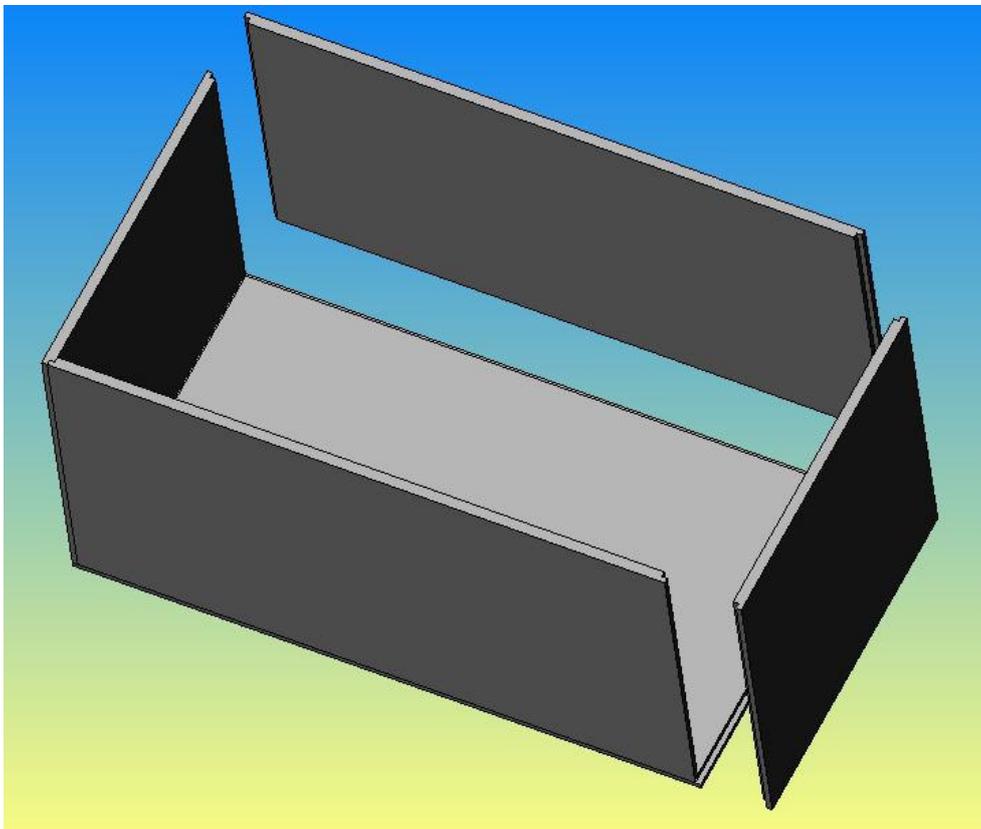


Figura 15- Novas paredes do cofre com parede 6mm

7.4- Desenvolvimento do Cofre Grande

Foi exigido pelo beneficiado que o carrinho transportasse também resíduos que o paciente provavelmente pudesse deixar no quarto e que estivessem contaminados pela radioatividade.

Como a radioatividade é consideravelmente menor neste caso, é possível se fazer uso de uma blindagem menor. Por uma questão de peso do carrinho, optou-se por se utilizar lençóis de chumbo de espessura 0,5 mm, sendo estes protegidos por uma camada em cada face de um tapete de PVC, sendo este material também oferece proteção contra a radiação, principalmente radiação beta.

Estas placas serão montadas em uma estrutura feita com chapas de aço com espessura 0.8 mm, para dar certa resistência ao cofre, e ainda assim, pela espessura,

evitando que o carro não seja manobrável. Suas portas terão um sistema simples de abertura através de duas dobradiças em cada, presas a estrutura metálica. O peso de cada porta está previsto para não exceder 1,3 kg, sendo assim de fácil manuseio pelo usuário.

Ambos os cofres serão fixos ao carro plataforma através de parafusos, sendo que no caso do cofre menor, serão utilizados parafusos com cabeças cônicas, para evitar que as mesmas interfiram nos ajustes das placas de chumbo com as caixas de madeira.

A seguir, pode-se ver uma figura do carrinho completo, com seus componentes.

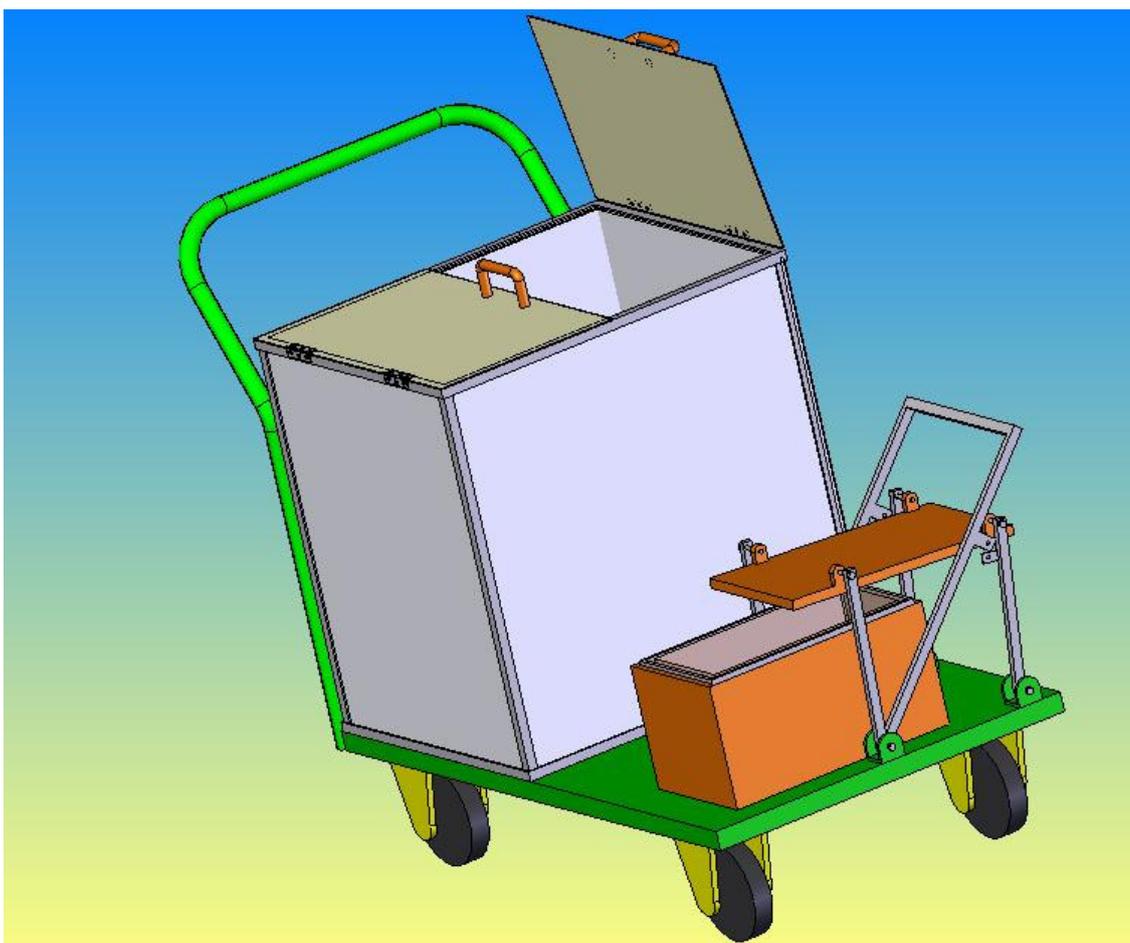


Figura 16 - Carrinho completo

Após todo desenhado, foi possível obter uma boa estimativa da massa final do protótipo, considerando o mesmo vazio.

$$M=70\text{kg}$$

Considerando agora que o mesmo esteja carregando 8 castelos de 3,5 kg, ou seja, sua carga máxima, a massa total será:

$$M_{\text{cheio}}=98\text{ kg}$$

Assim, lembrando-se que o veículo possuía como necessidade inicial, ter massa inferior a 136 kg durante seu transporte, podemos dizer que o protótipo ainda tem capacidade de carregar mais 38 kg de resíduos do paciente, mantendo-se ainda assim dentro de uma faixa aceitável de carga para o trabalhador.

8- LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Com o intuito de se obter recursos para a conclusão do projeto, um levantamento dos custos envolvidos foi feito. Segue a seguir uma lista dos itens avaliados:

- Carro Plataforma: R\$ 300,00
- Chumbo cofre: R\$ 287,70
- Chumbo recipiente maior: R\$ 379,94
- Perfil L recipiente maior: R\$ 25,00
- Tubos mecanismo tampa: R\$ 10,00
- Parafusos e porcas: R\$ 10,00
- Chapas Poliestireno recipiente maior: R\$ 50,00
- Madeira cofre: R\$ 50,00
- Mão de obra estimada: R\$ 600,00

Total: R\$ 1712,64

Considerando um contingente extra para gastos não previstos, estima-se um custo total do projeto em **R\$ 2000,00**.

Foi conseguida uma verba para o andamento do projeto, graças ao auxílio do professor orientador do projeto, Prof. Dr. Marcelo Massarani. Com isso, é possível continuar com o projeto.

9- FABRICAÇÃO

Com o projeto concluído e os recursos para a fabricação do protótipo disponíveis, foi possível iniciar a fabricação do mesmo. No entanto antes disso, um contato com o beneficiado foi feito para aprovação final do carrinho. O mesmo foi aprovado, apenas com a ressalva de que não havia uma superfície disponível para que o usuário apoiasse utensílios e equipamentos usados durante o tratamento. Assim, o desenho de uma mesa foi adicionada ao desenho, como se pode observar na figura a seguir.

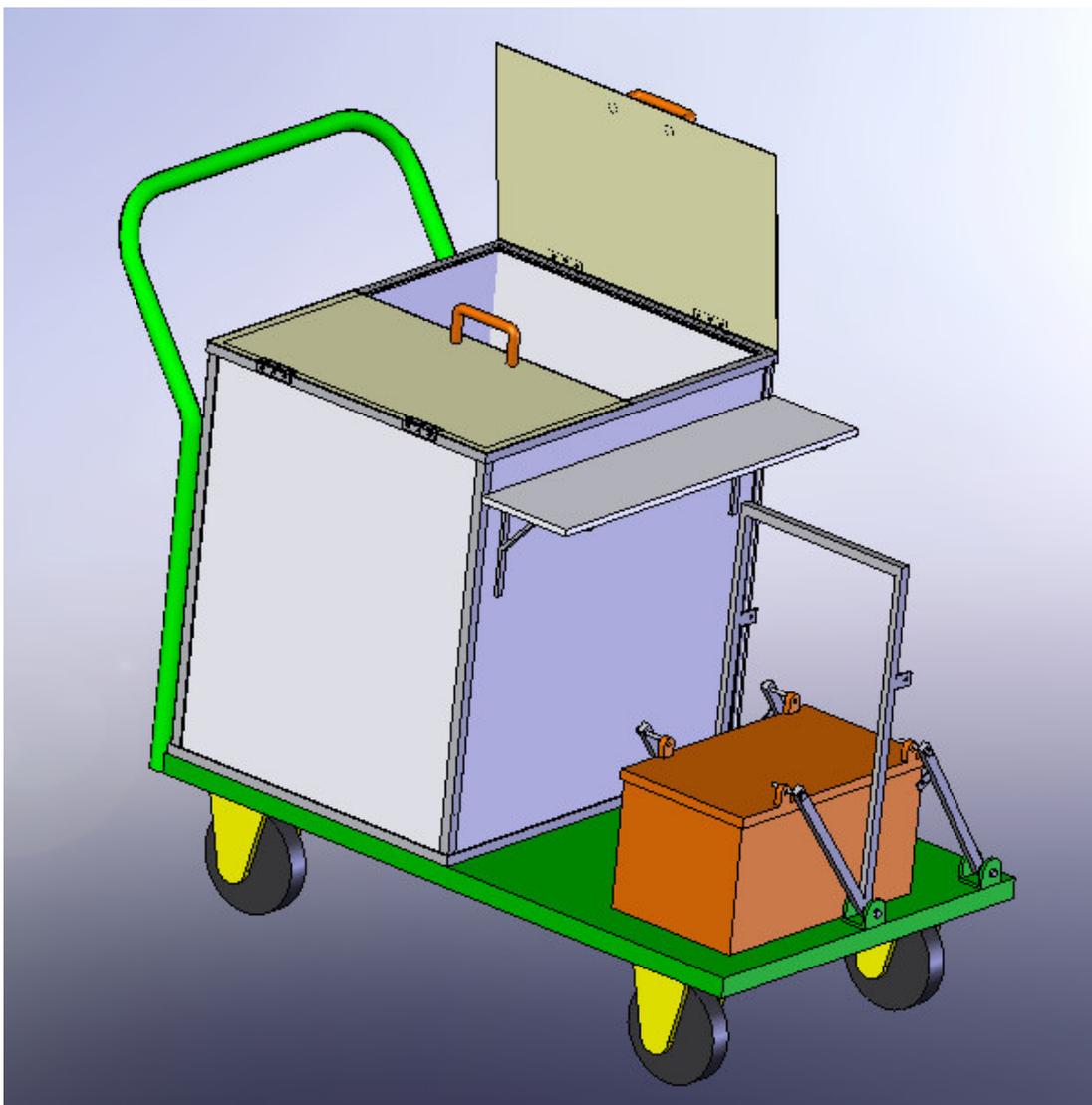


Figura 17 - Carrinho com mesa

Após esta adição, iniciou-se a compra dos materiais necessários para a construção do protótipo, iniciando-se com o chumbo e o carro plataforma. Houve certos problemas

e atrasos na entrega destes itens, o que acabou prejudicando o cronograma. A seguir, serão dadas maiores explicações das etapas de fabricação do protótipo.

9.1 – Compra de Materiais

A seguir, serão descritos os materiais comprados, ou mesmo cuja fabricação foi encomendada, com seus respectivos custos em comparação com o custo inicial estimado.

-Chumbo: O custo final do chumbo, tanto para o cofre grande quanto o cofre menor, foi de R\$ 460,00, comprados na forma de lençóis de chumbo, nas espessuras de 6 mm para o cofre menor, e 0.5 mm para o cofre maior.

-Carro Plataforma: O custo do carro plataforma foi de R\$300,00, conforme contabilizado na estimativa;

-Caixas de Madeira: Custo total de fabricação de R\$ 250,00, contabilizando tanto material quanto mão de obra. O serviço foi feito por uma marcenaria de confiança, para assegurar a qualidade final do produto;

-Parafusos, porcas e arruelas: No total, para este projeto, o valor destes itens não ultrapassou os R\$ 15,00, como não foram usados em grande quantidade, nem em dimensões muito específicas;

-Cofre grande: Foi conseguido um patrocínio da empresa ASMontec, empresa especializada no projeto e fabricação de salas limpas. Isso, além de ter reduzido o custo do protótipo, auxiliou na qualidade final do cofre, cujo projeto foi discutido com responsável da empresa, de modo a facilitar a fabricação. No entanto, o custo final do cofre foi estimado em R\$ 500,00.

-Cola de contato: Para fixação dos lençóis de chumbo nas paredes internas do cofre maior, foi utilizada cola de contato num valor de R\$ 17,00;

-Perfil quadrado 20x20mm: Como a compra de perfis tem quantidade mínima fixada em uma barra de 6m, foi necessário adquirir material a mais. No total, foram gastos R\$ 27,00 na compra do tubo, que foi cortado em 10 pedaços de 600 mm, para facilitar o transporte. No entanto, estima-se que no carrinho foram utilizados R\$ 11,61 em tubos, ou 43% do custo da compra;

-Mão de obra: É extremamente difícil estimar a mão de obra para finalização do carrinho, já que a mesma foi feita pelo autor, ou mesmo por empresas em que este

custo já estava incluído no preço final fornecido. Deste modo, o autor prefere manter este item em aberto, de modo a não alterar negativamente o custo final do projeto.

-Itens de acabamento: Para fins de acabamento foi adquirido 1 m de tapete anti-derrapante em PVC para cobrir o chumbo do cofre maior, tinta em spray verde, para colorir as barras do mecanismo de abertura e tampinhas de plástico para as pontas dos perfis do mesmo mecanismo, além de um conjunto de mãos francesas e tábua de madeira, para inclusão da mesa requisitada pelo beneficiado. Nestes itens, totaliza-se um gasto de R\$ 113,00.

Assim, o total realmente gasto na construção do protótipo foi de R\$ 1666,61, abaixo do inicialmente estimado. Logicamente este custo está levando em conta o preço estimado do cofre maior, caso contrário o preço final pago seria drasticamente reduzido para o valor de R\$ 1166,61, que daria uma visão irreal do valor do protótipo. Lembrando logicamente que estes custos se referem a um protótipo. Caso o mesmo projeto fosse viabilizado de forma comercial, o custo se reduziria devido ao volume de obra-prima comprada.

9.2- Construção

A seguir, serão dados detalhes da fabricação do protótipo, e as dificuldades encontradas.

9.2.1- Usinagem do Chumbo

Inicialmente foram gerados os desenhos de fabricação das placas de chumbo, os quais podem ser vistos no anexo deste documento. Durante o processo de fresamento das placas foram encontradas inúmeras dificuldades, principalmente devido à maleabilidade do material e seu baixo ponto de fusão. Dessa maneira a máquina teve de ser ajustada para uma rotação baixa, de aproximadamente 190 rpm, bem como a velocidade de avanço foi limitada, mas esta foi feita manualmente.

Mesmo assim, o processo mostrou-se difícil, pois o material continuava a emplastrar, não quebrando o cavaco e deixando um acabamento ruim. Apenas após iniciar um resfriamento constante durante o processo utilizando água, e após isso, álcool hidratado, se obteve um melhor resultado.

9.2.2- Montagem do cofre menor

Esta etapa da construção foi particularmente difícil, também em parte devido à maleabilidade do chumbo. Devido ao ajuste entre as placas, foi extremamente difícil encaixá-las sem que as placas sofressem amassados ou distorções. Diversas vezes foi preciso alinhar as placas novamente com o auxílio de uma superfície plana. Uma solução encontrada foi a de montar parcialmente as placas dentro da caixa maior de madeira, e após isso virar a caixa de ponta cabeça, o que auxiliava que os elementos se encaixassem de forma adequada, alinhando-se com a superfície da mesa onde estavam apoiados. No entanto, a dificuldade neste processo trouxe um efeito imprevisto. As furações para fixação da caixa no carro plataforma foram feitas com o intuito de fixá-la primeiramente, para só então montar as placas. Como isso demonstrou-se inviável, preferiu-se utilizar parafusos longos na fixação, de modo a possibilitar segurar os mesmo com um alicate para prender as porcas.

Como melhora, sugere-se a anexação de flanges para fixação na altura da base da caixa, em sua parede externa. Dessa forma, o problema da ordem de montagem seria eliminado.

É importante lembrar que a caixa menor foi construída com um ajuste deslizante ao chumbo, para viabilizar a montagem, caso contrário, a mesma seria impossibilitada, mesmo pelo ar que ficaria preso entre o elementos.

9.2.3- Colagem do chumbo no cofre maior

O melhor método encontrado para este processo foi primeiramente, colar o tapete anti-derrapante nos lençóis de chumbo, já cortados no tamanho correto. Após isso, colar estes itens nas paredes internas do cofre.

Lembrando-se que pelo cofre tratar-se de um ambiente extremamente fechado, o uso de EPI foi extremamente recomendado e utilizado, principalmente máscara. Como sugestão, apenas a utilização de algum peso no fundo do cofre, após a colagem, para evitar a formação de bolhas.

9.2.4-Montagem do mecanismo de abertura

Este demonstrou-se de grande simplicidade de ser montado. Após serem cortados os perfis nos tamanhos corretos e serem feitas as furações, restou apenas a soldagem da alavanca de ativação, que foi feita com o auxílio de um gabarito de madeira, como o mostrado na figura abaixo.



Figura 18 - Exemplo de gabarito para soldagem do mecanismo de abertura.

10- DISCUSSÃO

O projeto foi concluído com sucesso, sendo que ao final, obteve-se um projeto de acordo com as especificações iniciais do projeto.

Infelizmente, não obteve-se tempo hábil para levar o protótipo ao hospital até a data de entrega do presente relatório. Assim, não foi possível observar o nível real de blindagem do equipamento. Apesar disso, há grande expectativa de que o equipamento funcione, dado que seu projeto foi feito levando-se em consideração a inexistência da blindagem dos castelos.

Para melhor aferição do funcionamento do carrinho, um rápido questionário foi elaborado, de forma a possibilitar a rápida obtenção de dados para futuras melhorias no protótipo, caso isso venha a ser necessário. Um exemplo do questionário pode ser encontrado no anexo C do presente relatório.

O carrinho apresentou ainda uma grande capacidade de manobrabilidade, sendo possível facilmente conduzi-lo pelos corredores do hospital, bem como vencer pequenos obstáculos. O peso total do protótipo descarregado foi de 76 kgs, estando portanto dentro do escopo inicial do projeto.

Infelizmente, devido a maleabilidade do chumbo, no entanto, existe a possibilidade de deformações prejudicarem a impermeabilidade da blindagem. No entanto, os rebaixos e encaixes entre as placas e na tampa foram idealizados com o objetivo de minimizar estes fatores, o que possibilita a utilização do equipamento com segurança.

Nas fotos a seguir, pode-se observar o resultado final do projeto.



Figura 19 - Carrinho pronto, vista lateral



Figura 20 - Carrinho pronto, vista frontal



Figura 21 - Mecanismo de abertura em funcionamento

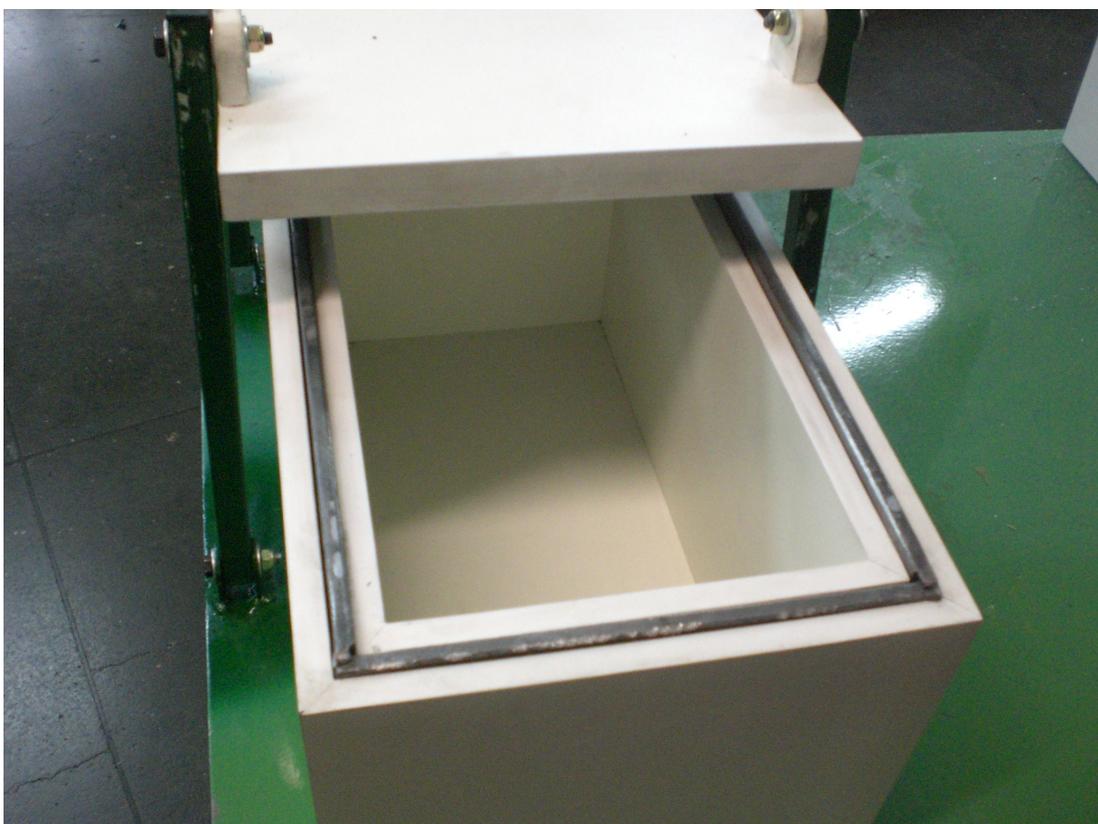


Figura 22 - Detalhe do chumbo no cofre menor



Figura 23 - Cofre maior



Figura 24 - Detalhe chumbo cofre maior



Figura 25 - Aparência interna do cofre maior

11-CONCLUSÕES

Foi possível uma diminuição drástica no custo do protótipo, principalmente devido à redução da espessura necessária na blindagem do cofre menor, de 50 mm para 6 mm. Com isso, a construção do carrinho foi viabilizada, facilitando também a arrecadação de recursos para o mesmo.

Ao fim, obteve-se um protótipo de boa qualidade, funcional, atendendo a todas as especificações ergonômicas necessárias ao projeto. Infelizmente testes com radiação não foram possíveis, pois não houve tempo hábil. Porém, no ato da entrega, obviamente isso será verificado, de modo que observações referentes aa utilização do mesmo possam se adicionadas. Lembrando-se inclusive da existência de questionário para avaliação do produto pelo usuário, sendo este um dos itens contemplados no mesmo.

Concluindo, foi possível concluir o projeto, de modo a entregar ao fim do trabalho um produto de qualidade e com a possibilidade de ser utilizado pela Fundação Pio XII.

12- BIBLIOGRAFIA

- 1-Dell, M. A. – *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 1997
- 2-CNEN – *Posição regulatória 3.01/003 – Coeficientes de dose para indivíduos ocupacionalmente expostos – 11/2005*
- 3- Martin, A.; Harbison, Samuel A. – *An Introduction to Radiation Protection*. 1st edition, Chapman and Hall Ltd., London, 1972.
- 4- MINISTÉRIO DO TRABALHO. *Norma Regulamentadora nº 17. Ergonomia*; Portaria 3.214 de 8/6/78. Brasília, 1978
- 5- AMORIM NETO, M.G. *Métodos diferentes de eliminação da insalubridade, determinação da força exercida pelo operário, e avaliação experimental da capacidade de resistência de estruturas simples*. Rev. Saúde Pública, São Paulo, 1986.
- 6- Gillespie, Thomas D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers, Inc. Warrendale, 1992.

Anexo A

¹³¹I	Nuclide Safety Data Sheet Iodine-131 www.nchps.org	¹³¹I
------------------------	---	------------------------

I. PHYSICAL DATA

Radiation:	Gammas & X-rays: primary 364 keV (81% abundance); others – 723 keV Betas: primary 606 keV (89% abundance); others 248 – 807 keV
Gamma Constant:	0.28 mR/hr per mCi @ 1.0 meter [7.647E-5 mSv/hr per MBq @ 1.0 meter] ¹
Half-Life [T _½]:	Physical T _½ : 8.04 days Biological T _½ : 120-138 days (unbound iodine) Effective T _½ : 7.6 days (unbound iodine)
Specific Activity:	1.24E5 Ci/g [4,600 TBq/g] max.

II. RADIOLOGICAL DATA

Radiotoxicity ² :	4.76 E-7 Sv/Bq (1.76 rem/uCi) of ¹³¹ I ingested [Thyroid] 2.92 E-7 Sv/Bq (1.08 rem/uCi) of ¹³¹ I inhaled [Thyroid]
Critical Organ:	Thyroid Gland
Intake Routes:	Ingestion, inhalation, puncture, wound, skin contamination (absorption);
Radiological Hazard:	External & Internal Exposure; Contamination

III. SHIELDING

	Half Value Layer [HVL]	Tenth Value Layer [TVL]
Lead [Pb] ³	3 mm (0.12 inches)	11 mm (0.43 inches)
- The accessible dose rate should be background but must be < 2 mR/hr		

IV. DOSIMETRY MONITORING

- Always wear radiation dosimetry monitoring badges [body & ring] whenever handling ¹³¹I
- Conduct a baseline thyroid scan prior to first use of radioactive iodine
- Conduct thyroid bioassay measurement [at neck just above collar bone] no earlier than 6 hours but within 72 hours of handling 1 mCi or more of ¹³¹I or after any suspected intake

V. DETECTION & MEASUREMENT

Portable Survey Meters:

Geiger-Mueller [e.g. PGM] to assess shielding effectiveness & contamination

Wipe Test: Liquid Scintillation Counter or Gamma Counter

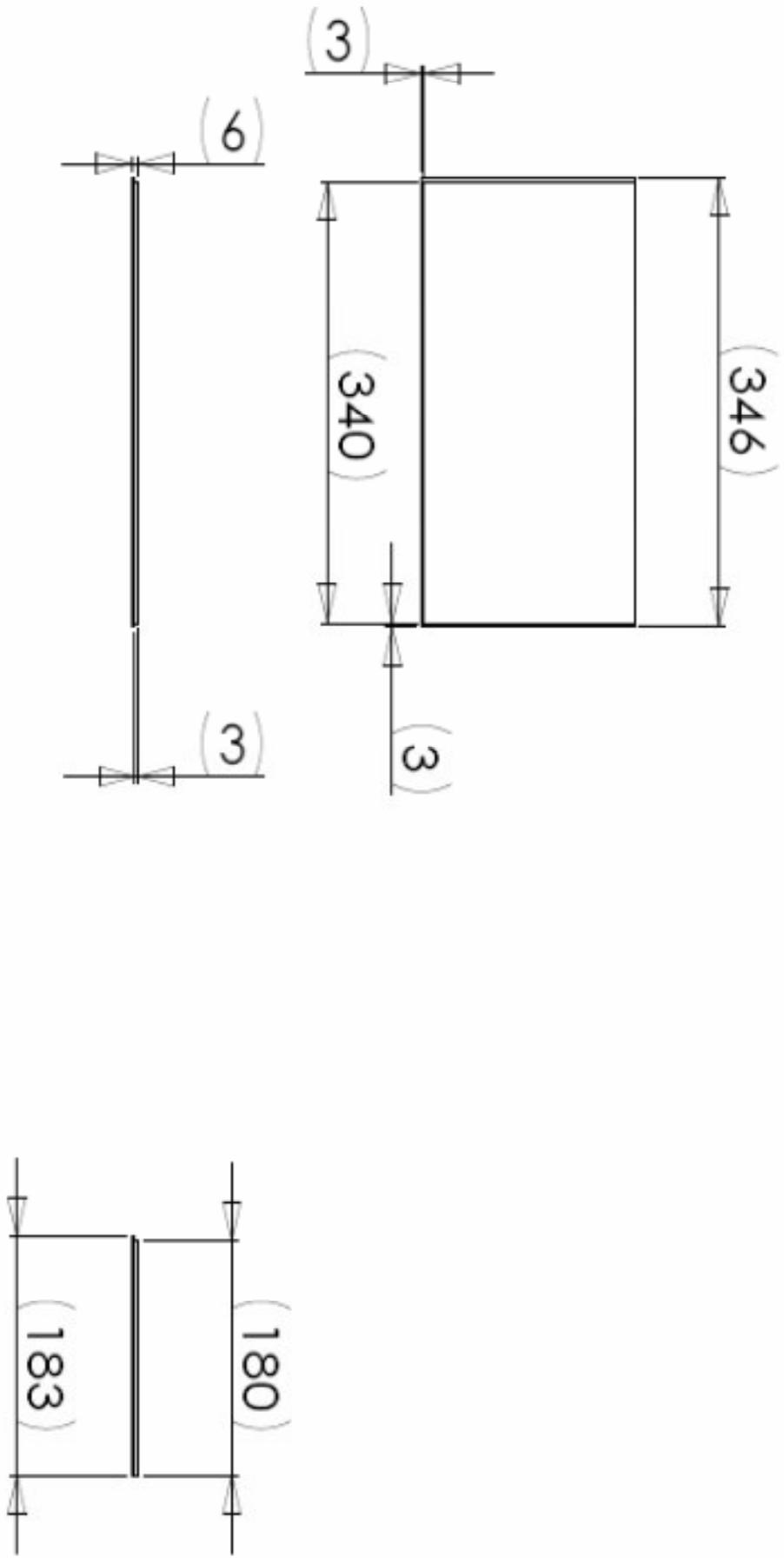
VI. SPECIAL PRECAUTIONS

- Avoid skin contamination [absorption], ingestion, inhalation, & injection [all routes of intake]
- Use shielding [lead or leaded Plexiglas] to minimize exposure while handling mCi quantities of ¹³¹I
- Avoid making low pH [acidic] solutions containing ¹³¹I to avoid volatilization
- For Iodinations:
 - Use a cannula adapter needle to vent stock vials of ¹³¹I used; this prevents puff releases
 - Cover test tubes used to count or separate fractions from iodinations with parafilm or other tight caps to prevent release while counting or moving outside the fume hood.

¹ Health Physics & Radiological Health Handbook, 3rd Ed. [Baltimore, MD; Williams & Wilkins, 1998], p. 6-11

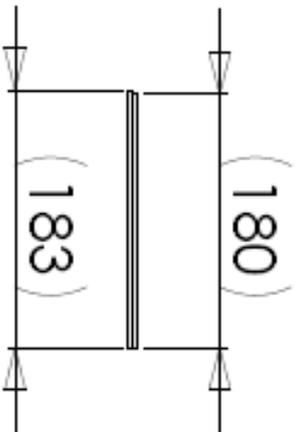
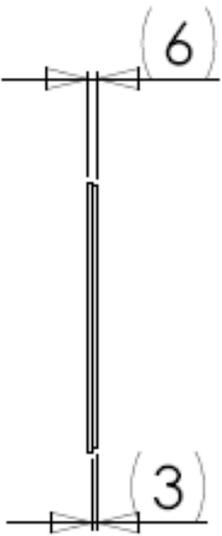
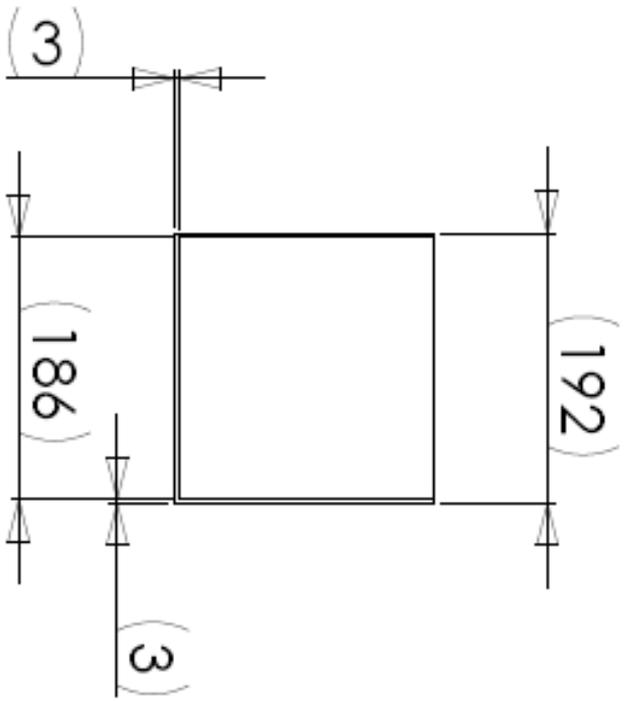
² Federal Guidance Report No. 11 [Oak Ridge, TN; Oak Ridge National Laboratory, 1988], p. 136, 166

³ HVL & TVL values from: Delacroix, D. et al. Radionuclide and Radiation Protection Handbook [*Radiation Protection Dosimetry*, vol.76, nos 1-2, 1998, Nuclear Technology Publishing, Ashford, Kent, England, 1998], p. 90



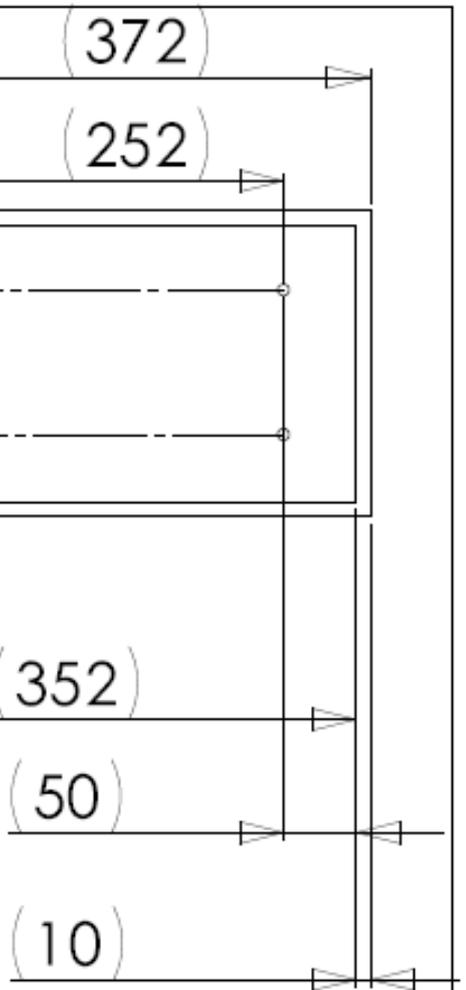
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF
 ORBIT CORPORATION. IT IS TO BE USED
 ONLY FOR THE PURPOSES SPECIFIED
 HEREIN. ANY REPRODUCTION OR
 TRANSMISSION IN ANY FORM OR BY
 ANY MEANS WITHOUT THE WRITTEN
 PERMISSION OF ORBIT CORPORATION IS
 PROHIBITED.

Medidas em mm		DESENHO	TRAÇADO	DATA																						
Tolerância geral: +0,15 mm		CHECADOR																								
MATERIAL: CHUMBO		ENQ. NHTS.																								
FINISH: --		REC. ASSY.																								
DO NOT SCALE DRAWING		Q.A.																								
GTD.: 2 peças																										
<table border="1"> <tr> <td>REV</td> <td>APP'D</td> <td>DATE</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>Pedro E. Z. Silva</td> <td></td> </tr> </table>					REV	APP'D	DATE	A	Pedro E. Z. Silva																	
REV	APP'D	DATE																								
A	Pedro E. Z. Silva																									
<table border="1"> <tr> <td>OCALISTA</td> <td>INSCRIC.</td> <td>SECRETARIA</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					OCALISTA	INSCRIC.	SECRETARIA																			
OCALISTA	INSCRIC.	SECRETARIA																								
<table border="1"> <tr> <td>APLICACION</td> <td>USED ON</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>					APLICACION	USED ON																				
APLICACION	USED ON																									
<p>POLI USP</p> <p>Lateral maior</p>																										

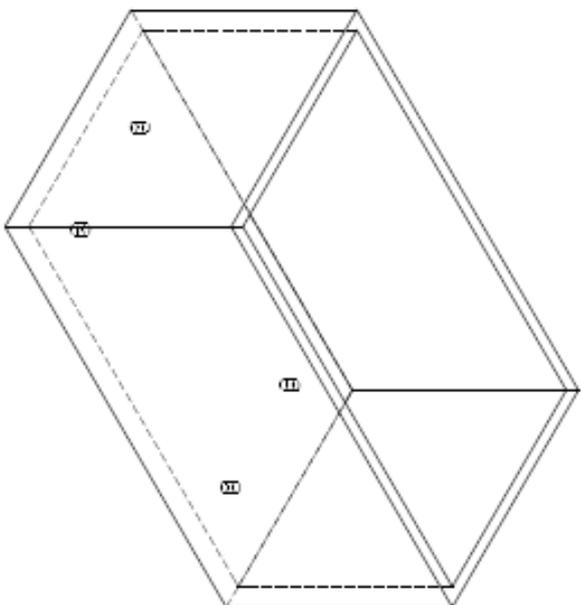


PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF
 ©RESIST COMPANY NAME HERE. ANY
 REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE
 WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF
 ©RESIST COMPANY NAME HERE IS
 PROHIBITED.

Medidas em mm		DESKIN	NAME	DATE	QTD.: 2 peças POLI USP Lateral menor
Tolerância geral: +0,15 mm		CHECKED			
MATERIAL	CHUMBO	ENG APPR			
FINISH	-	WFO APPR			
APPLICATION		D.A.			
NEXT ASSY	USED ON	DO NOT SCALE DRAWING		REV: A	
					DESIGNED BY: Pedro E. Z. Silva
					DRAWN BY: SERTORI



- Dimensões internas da caixa precisam ter precisão. Espessura e dimensões externas não.
- Uso de fôrmica em toda a superfície é imprescindível, atendando no entanto para dimensões internas da caixa!
- Furação no fundo não necessita de muita precisão.



medidas em mm



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING		DRAWN		DATE		POLL - USP	
USED ON		MM	--	CHECKED				Caixa Externa	
NEXT ASSY		DIMENSIONS ARE IN INCHES		ENG. APPR.				Carro lodo 131	
		TOLERANCES:		MAT. APPR.				SHEET 1 OF 1	
		FRACTIONAL ±		Q.L.					
		ANGULAR: MATCH ±		COMMENTS:					
		TWO PLACE DECIMAL ±		Pedro E. Z.					
		THREE PLACE DECIMAL ±		Silva					
		MATERIAL							
		FINISH							
		SCALE							
		APP. NO.							
		SCALE							
		VERSION							
		SHEET 1 OF 1							

Anexo CQuestionário de avaliação do produto**Carrinho para Transporte de Iodo-131 radioativo**

Enumere a satisfação com o aspecto do produto, de 1 a 5, sendo 5 o valor referente à maior satisfação, e 1 referente à menor.

Blindagem:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Sugestões e observações específicas ao item:

Peso:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Sugestões e observações específicas ao item:

Manobrabilidade:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Sugestões e observações específicas ao item:

Facilidade de utilização (abertura de portas e acessos):

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Sugestões e observações específicas ao item:

Sugestões e observações adicionais:
