

OPÇÕES COMERCIAIS PARA O PROCESSO ALTERNATIVO DE VULCANIZAÇÃO DO LÁTEX DE BORRACHA NATURAL INDUZIDO COM RAIOS GAMA

HUGO DAVID CHIRINOS **COLLANTES**, SELMA MATHEUS LOUREIRO GUEDES
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES - IPEN-CNEN/SP

ANGELINA MARIA CONTIM
FABRICA DE ARTEFATOS DE LÁTEX DE SÃO ROQUE S/A

RESUMO

O objetivo deste trabalho é discutir os aspectos econômicos do processo de fabricação de luvas cirúrgicas a partir do látex de borracha natural vulcanizado com raios gama. Foi considerada uma fábrica de luvas cirúrgicas de médio porte, com capacidade diária de 11.000 pares de luvas cirúrgicas, operando em 3 turnos. Os custos de fabricação do processo alternativo é de 15% menor que os do processo convencional. Dentre as 4 opções comerciais consideradas a instalação de uma usina de vulcanização é mais atrativa para um investidor que deseja o menor tempo de retorno do capital. Entretanto, se se deseja um lucro três vezes maior deve-se investir em uma fábrica de luvas cirúrgicas com o sistema de irradiação instalado.

1.- VULCANIZAÇÃO INDUZIDA COM RAIOS GAMA

1.1 - O PROCESSO

Embora o processo térmico convencional de vulcanização do látex na presença de enxôfre é mais utilizado na indústria, traz sérios problemas ambientais e toxicológicos. Por isso, desde a década de 80 um processo alternativo de vulcanização, com vantagens econômicas e produzindo artefatos com melhores qualidades, vem sendo desenvolvido. Esse processo alternativo é a reticulação do látex induzida com radiação ionizante, que ocorre à temperatura ambiente (10).

Ná década de 60 muitas pesquisas de laboratório, que envolviam a reticulação do látex de borracha natural e da borracha seca, com radiação ionizante, foram realizadas na Inglaterra, na ex-Rússia e em outros países (16). Entretanto na década de 70 o interesse por esse processo decresceu significativamente devido a inviabilidade econômica e a baixa qualidade dos artefatos obtidos. Em 1982, foi implantado pela International Atomic Energy Agency (IAEA) um projeto de cooperação técnica na Ásia, com a liderança do Japão, para o desenvolvimento da vulcanização do látex induzida com radiação ionizante, como um processo com aplicação industrial. O Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), localizado na cidade de Takasaki recebeu cientistas da China, da Indonésia, da Malásia, de Sri Lanka, e da Tailândia para tornar esse processo competitivo com o convencional. Esses países desenvolveram esse projeto em três aspectos básicos (10):

- melhorar a qualidade dos artefatos;
- desenvolver irradiadores mais baratos;

PALESTRA XXII - PÁGINA 275

6º Congresso Brasileiro de Tecnologia da Borracha,
São Bernardo do Campo, SP, 12-15 de setembro, 1995

COLEÇÃO PTC

DEVOLVER AO BALCÃO DE EMPRÉSTIMO

IPEN-DOC-2864

- c) desenvolver radiosensibilizadores ou agentes de vulcanização que promovam a diminuição da dose de vulcanização.

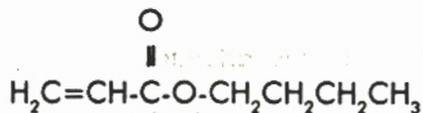
Esse processo alternativo apresenta vantagens do ponto de vista de propriedades, de produção e econômico. Os artefatos fabricados apresentam as seguintes vantagens relacionadas com os aspectos ambientais, toxicológicos e médicos (11):

- a) não contém S, ZnO, portanto, quando incinerados não produzem poluentes atmosféricos;
- b) não contém nitrosaminas, que são considerados compostos cancerígenos.
- c) baixa citotoxicidade. Por isso encontram aplicações na fabricação de suprimentos médicos, artefatos que estarão em contato com alimentos e, brinquedos que poderão ser levados à boca;
- d) maior transparência (98% contra 75% pelo processo convencional);
- e) maior maciez.
- f) maior biodegradação.

Por isso encontram muitas aplicações médicas, como balões óticos a laser, drenos, luvas, cateteres, bexigas, bicos de mamadeira, chupetas, brinquedos para recém-nascidos, etc.

Do ponto de vista de produção as vantagens são as seguintes: o látex irradiado apresenta maior estabilidade química, menor consumo de produtos químicos durante o processo de vulcanização, o processo é mais simples e por isso oferece melhores condições de controle. Enquanto no processo alternativo a vulcanização ocorre em uma única etapa à temperatura ambiente, que é durante a irradiação, no processo convencional há duas etapas de vulcanização: a pré-vulcanização e a pós-vulcanização, que se apresentam durante a etapa de fabricação dos artefatos, as quais envolvem maior consumo de energia. Portanto, o processo alternativo é mais simples e consome menos energia do que o processo térmico convencional. As Figuras 1 e 2 mostram os diagramas de bloco para os dois processos, de fabricação de artefatos pelo método de imersão.

A dose de vulcanização (DV) é a dose de irradiação que corresponde a máxima resistência à tração na ruptura (RT). A DV para o látex é cerca de 200 kGy, o que torna o processo alternativo economicamente inviável. Entretanto DV menores que 10 kGy torna este processo economicamente atrativo, quando a vulcanização é induzida com raios gama, que podem ser atingidas com a adição de radiosensibilizadores (RS) adequados (1), os quais aumentam a densidade de radicais, devido ao alto valor de G_{radical} (número de radicais formados por 100 eV de energia absorvida). Também o RS mantém a estabilidade coloidal do látex e as propriedades dos artefatos (1,20). Um dos primeiros RS estudados por Devendra e Makuuchi (7) foi o tetracloreto de carbono porque o G_{radical} é igual a 70, enquanto que para o clorofórmio é 59,5, para o 1,2 dicloreto de etano é 41 e para a borracha natural seca é 0,5 (18). A DV foi reduzida para 40 kGy. Os monômeros acrílicos monofuncionais, recomendados para a utilização em artefatos de borracha, reduziu a DV para cerca de 10 kGy. Dentre os monômeros acrílicos estudados, o que apresentou maior eficiência na reticulação do látex foi o acrilato de normal butila (An-B) (20), cuja fórmula molecular é:



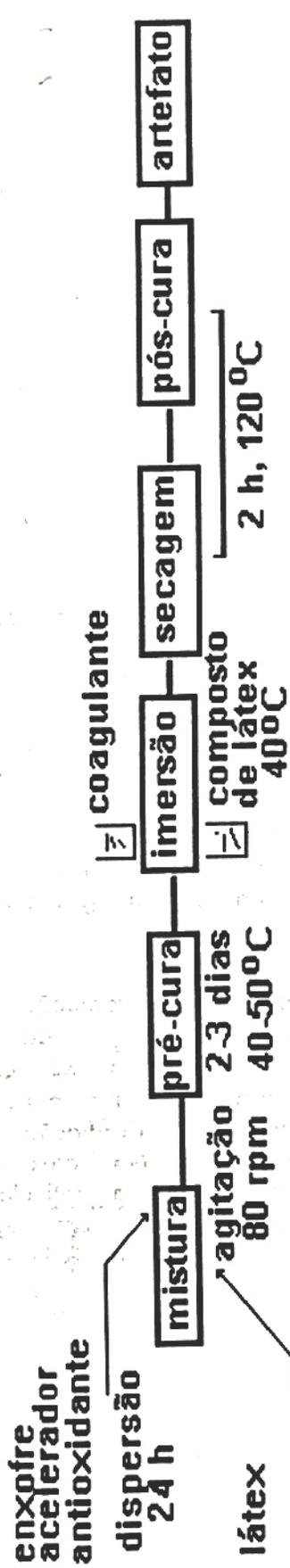


Figura 2 - Fabricação de artefatos pelo método de imersão, a partir de látex vulcanizado com enxofre

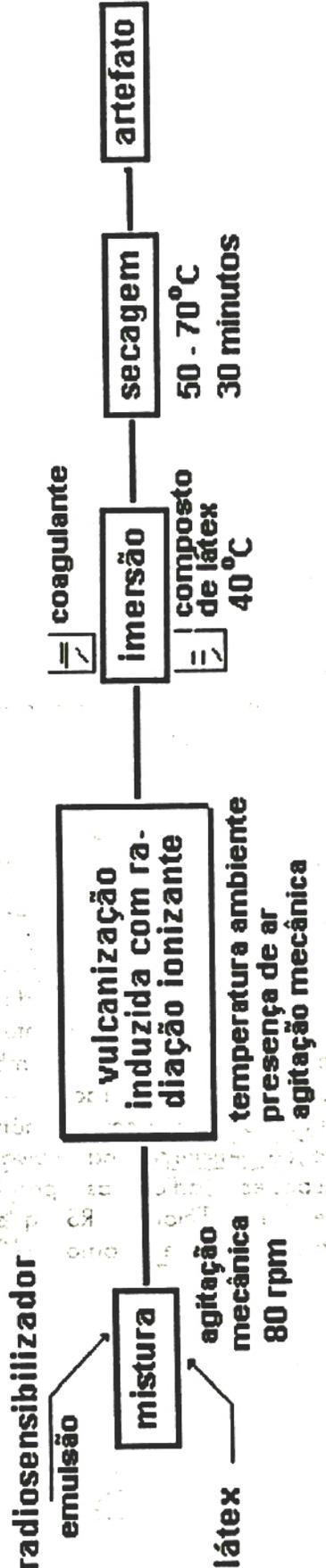


Figura 3 - Fabricação de artefatos pelo método de imersão, a partir de látex vulcanizado com radiação ionizante

Como o An-B afeta a estabilidade coloidal do látex há necessidade da presença do KOH, que hidrolisa os lipídios formando micelas protetoras (14).

A adição de 3 phr de An-B e 0,2 phr de KOH ao látex reduz a DV para 10 kGy com um ligeiro aumento da RT máxima (18). Aroonvisoot e Makuuchi (1) reduziram a DV para 8 kGy adicionando apenas 0,1 phr de hidroperóxido de t-butila (HPT-B) ao An-B / KOH.

Em 1983, uma planta piloto para vulcanizar o látex de borracha natural com radiação gama, foi instalada no Centro de Aplicações de Isótopos e Radiação, em Jakarta / Indonésia (13). A Figura 3 mostra os principais componentes que constituem o sistema de irradiação do látex, os quais serão descritos em seguida.

Na unidade de emulsificação (1) o RS que forma o sistema óleo / água, (O/A) é emulsionado com uma forte agitação mecânica, promovida por um agitador elétrico. A emulsão que sai de (1) e o látex, são transferidos para a unidade de mistura (2), onde a mistura é agitada lentamente por algumas horas. A mistura, amadurecida, é transferida para o reator de vulcanização (3), localizado na sala de irradiação (4), através de ar comprimido obtido do compressor (C2). A mistura é irradiada com raios gama proveniente de uma fonte de ^{60}Co (5), que é acionada do fundo da piscina (6) por controles externos à sala de irradiação (4). O tempo de vulcanização requerido é de várias horas e depende de vários fatores, tais como: dose de irradiação, taxa de dose e, concentração e tipo do RS. Para se obter homogeneidade na dose absorvida, a mistura de látex é agitada lentamente durante a irradiação. Após o término da etapa de irradiação, a fonte de ^{60}Co é transferida para o fundo da piscina (6) e o látex irradiado é transferido, por gravidade, para recipientes adequados (7).

Entretanto o processo alternativo de vulcanização induzido com radiação ionizante só pode ser utilizado industrialmente para o látex, porque o G_{radical} da borracha seca é muito pequeno (0,5). Também não se conhece nenhum RS capaz de migrar pela estrutura da borracha sólida e formar radicais suficientes para diminuir a DV e tornar o processo econômico. Estes fatos tornam a radiação ionizante um agente pouco eficiente na vulcanização da borracha seca. No látex irradiado, embora as espécies radiolíticas provenientes da água favorecem a reticulação, há necessidade de se adicionar RS que tornam a radiação ionizante um agente de vulcanização tão eficiente como o enxofre (9).

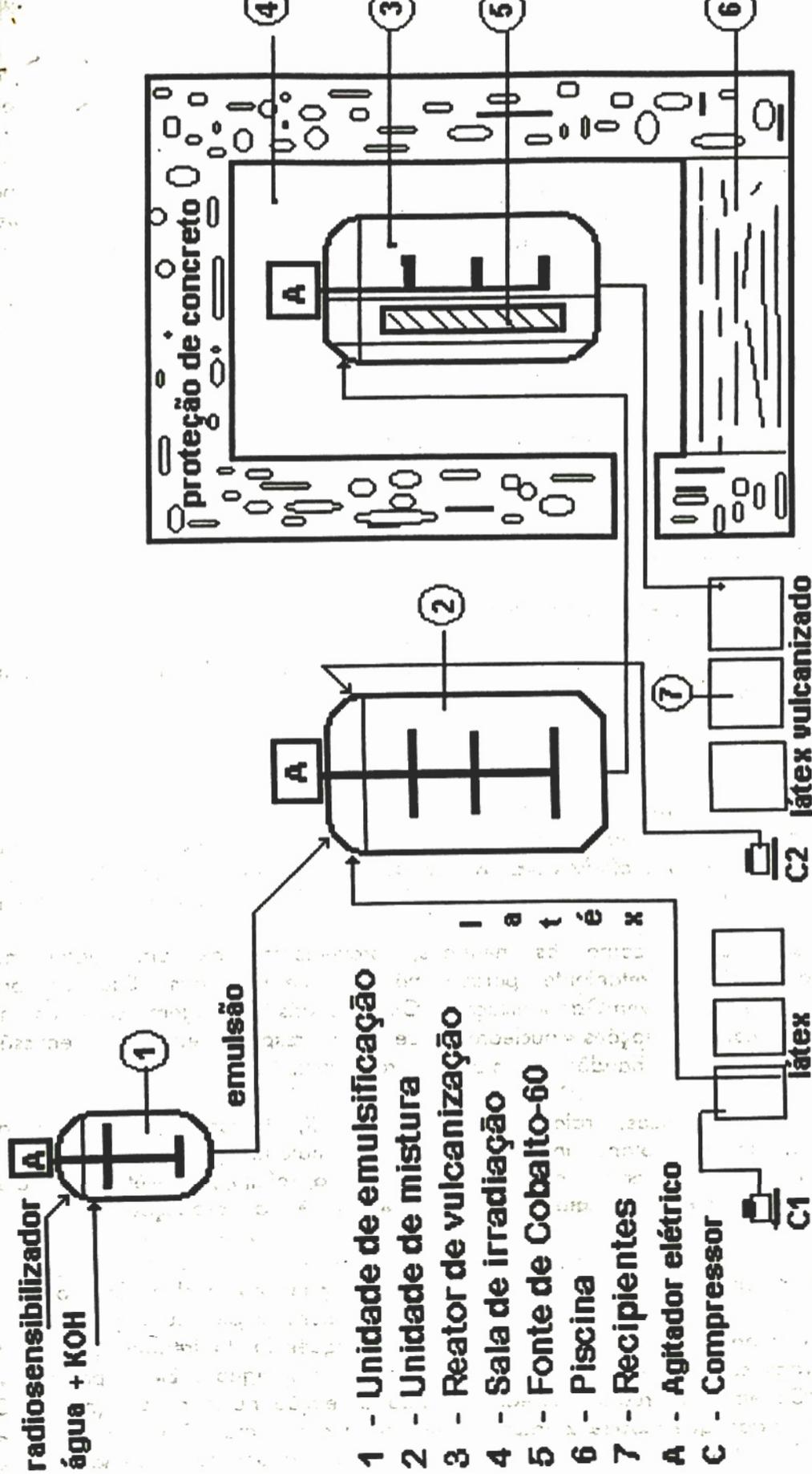


Figura 4 - Planta piloto: esquema do sistema de vulcanização do látex induzida com raios gama [38]

1.2 - RADIIÓLISE DO LÁTEX DE BORRACHA NATURAL

A primeira característica observada da radiação de alta energia foi a formação de íons, por isso foi denominada de radiação ionizante.

As radiações ionizantes mais empregadas na indústria são, a radiação gama emitida por uma fonte de radioisótopo de ^{60}Co ou de ^{137}Cs , feixe de elétrons de alta energia proveniente de máquinas aceleradoras, e radiações ultravioleta provenientes de lâmpadas de mercúrio.

As radiações ionizantes podem ser classificadas, conforme suas propriedades de carga e massa, da seguinte forma:

1 - Com massa:

- a) Partículas carregadas pesadas (α , d , p , t) e leves (β^+ , e^-).
- b) Partículas sem carga (n)
- c) Fragmentos de fissão.

2 - Sem massa, Radiações eletromagnéticas (γ , X).

As partículas com carga interagem com a eletrosfera do átomo através de interações coulombicas, provocando ionização (2) e excitação (1).



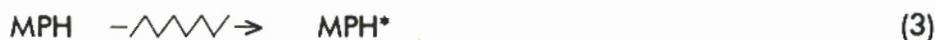
As partículas sem carga como os nêutrons, provenientes de um reator nuclear, não ionizam a matéria diretamente porque não possuem cargas. São os produtos dessa interação que promovem a ionização. Os nêutrons interagem com os núcleos dos átomos provocando reações nucleares que são responsáveis pela emissão de partículas e radiações, tornando a matéria radioativa.

As radiações eletromagnéticas, raios gama e raios X, transportam energia através dos fótons. Quando os fótons interagem com a matéria perdem a energia por 3 processos principais conforme a sua energia: o efeito fotoelétrico (até 0,1 MeV), o espalhamento Compton (1 a 5MeV) e a produção de pares (a partir de 1,02 MeV).

A radiação gama, de natureza eletromagnética, tem origem no núcleo do átomo, como consequência de reações nucleares, provocadas pelo bombardeio de neutrons, enquanto que raios X tem origem na eletrosfera do átomo, como consequência do freamento de partículas carregadas. O radioisótopo de ^{60}Co é o emissor y mais empregado. Ele é produzido pela irradiação do ^{59}Co em um reator nuclear, segundo a reação nuclear $^{59}\text{Co} (n, \gamma) ^{60}\text{Co}$. O ^{60}Co é um radioisótopo que emite 2 raios γ com energias próximas (1,17 e 1,33 MeV) e raios β^- ($E = 0,31$ MeV). Os raios β^- são totalmente atenuados pelo material que contém o ^{60}Co .

Quando se irradia o látex com raios gama cuja energia média é de 1,25 MeV, ou com feixe de elétrons ($E \cong 1,5 \text{ MeV}$) predomina o efeito Compton e, o látex não se torna radioativo, podendo ser manipulado imediatamente após a irradiação. No efeito Compton ocorre a transferência de energia, de forma que é criado um outro foton com energia menor e trajetória diferente e, o elétron atômico adquire energia excitando ou ionizando a molécula.

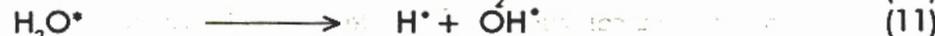
As moléculas excitadas podem sofrer cisão homolítica dando origem aos radicais. Os radicais poliméricos responsáveis pela vulcanização ou reticulação são formados, como consequência direta ou indireta da interação da radiação ionizante. Quando a interação é direta com as moléculas poliméricas (MPH), elas se excitam (reação 3) e ocorre a cisão homolítica de ligações C-H (reação 4) e de ligações C-C (reação 5). Essas espécies têm uma alta energia cinética, que permitem migrar.



Os radicais poliméricos também são formados pela ação indireta da radiação, quando radicais $^* \text{CH}_3$ e principalmente H^* com alta energia cinética, colidem com as moléculas poliméricas e arrancam outros H^* (reações 6 e 7).



Os radicais são formados dentro da partícula de borracha dispersa na água, provenientes de moléculas orgânicas (reações 4 e 5), ou são formadas na fase dispersa, como consequência da radiólise da água (reação 9 e 11).



Fótons e elétrons provenientes da radiação ionizante, podem arrancar um elétron da molécula de água, ionizando-a (reação 8). As moléculas excitadas de água, H_2O^* , formadas pela interação direta da radiação ionizante (reação 9) ou pela recombinação de radicais com alta energia (reação 10), podem perder o excesso de energia através de mecanismos vibracionais internos, transferindo-o para outras moléculas (reação 12). Podem também sofrer cisões homolíticas (reação 11) com a formação de radicais. Esses radicais possuem energia cinética suficiente para migrar, penetrar na partícula de borracha, colidir e arrancar outros átomos de H formando radicais poliméricos (reação 6) (8).

Durante a radiólise do látex a cadeia carbônica das moléculas poliméricas são rompidas (reação 5) mas, a reticulação (reações 13-15) ocorre em maior grau transformando as propriedades plásticas em elásticas.



2 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA

2.1 - CONSIDERAÇÕES

Foram fabricadas luvas cirúrgicas pelo método de imersão com coagulante, a partir do látex de borracha natural vulcanizado com raios gama, com uma dose de 10 kGy na presença de ar, à temperatura ambiente, utilizando o seguinte sistema de radiosensibilizador: 3 phr de An-B/0,2 phr de KOH (3,4,18). Os parâmetros de fabricação foram definidos a nível de planta piloto, em função das propriedades mecânicas de luvas cirúrgicas. Com essas informações foi realizada a avaliação econômica do processo para as condições brasileiras. Foi calculado o custo de irradiação, de fabricação e foram estudadas 4 opções comerciais.

A avaliação econômica foi realizada estabelecendo as seguintes condições de processamento: a planta piloto projetada é utilizada para irradiar somente látex, cuja densidade é de 0,98 g/cm³, com raios gama proveniente de uma fonte de ⁶⁰Co, tipo esteira, com uma dose de 10 kGy, na presença de 3 phr de An-B / 0,2 phr de KOH; o tipo de estocagem da fonte é úmido-submergível, com atividade máxima de 100kCi de ⁶⁰Co; a formulação e a irradiação do látex são feitas por batelada, cuja capacidade de cada uma é de 1.340 kg; o tempo de exposição para atingir a dose de 10 kGy é de 11,4 horas (5, 6, 13); o fator de eficiência ou fração da energia da radiação da fonte que é absorvida pelo produto é de 0,2 (2); a eficiência de utilização da fonte é de 91% das horas anuais ativas, com um total de 8.000 horas (4), repartidos em 3 turnos diários, cuja capacidade total de irradiação será de 117,54 kg de látex por hora. Outras condições serão indicadas nos cálculos.

Nas condições acima foram estimados os seguintes parâmetros econômicos: o investimento de capital para montar uma fábrica de luvas cirúrgicas que utiliza o processo de vulcanização do látex de borracha natural com raios gama; os custos de irradiação do látex nas condições econômicas brasileiras, o qual foi comparado com os custos de irradiação de outros países; e os custos de fabricação que foram comparados com os custos de fabricação do processo convencional, fornecidos por uma fábrica de luvas cirúrgicas de médio porte, com uma capacidade diária de 11.000 pares, operando em 3 turnos. Por último foram feitas as avaliações econômicas para quatro opções comerciais, através de indicadores econômicos calculados, tais como, o ponto de equilíbrio e o tempo de retorno do capital, que permitem realizar uma análise comparativa e concluir qual a melhor opção.

A fonte de ⁶⁰Co é a mais utilizada industrialmente, devido a alta energia dos raios gama (1,17 -- 1,33 MeV) e uma meia vida de 5,3 anos (19). As fontes comerciais consistem de pastilhas do metal de cobalto que são duplamente encapsuladas, tomando a forma de um cilindro de 0,5 x 18 polegadas (19), chamadas de fonte tipo lápis. A máxima atividade específica teórica é aproximadamente de 1.200

(19). Um desenho típico de uma fonte estendida consiste de um arranjo paralelo dos lápis contidos em uma estrutura metálica (Figura 4).

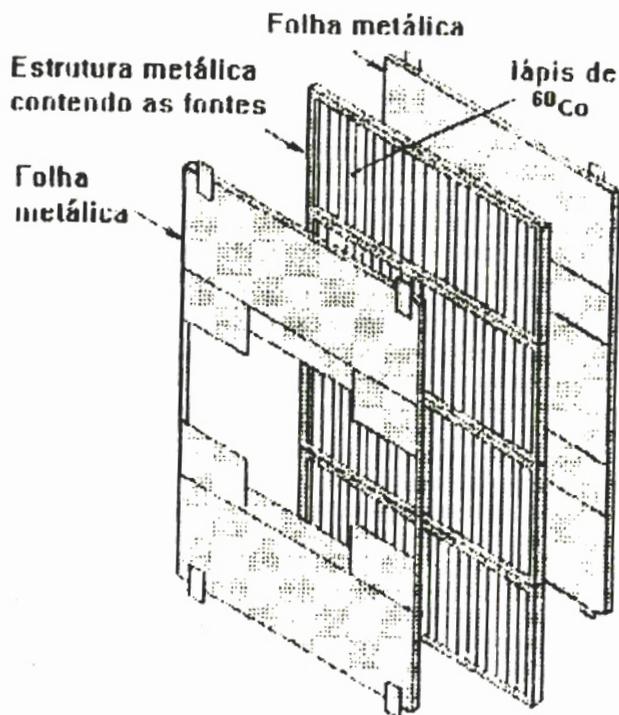


Figura 5 - Arranjo de uma fonte de ^{60}Co (19).

Os raios gama provenientes dessa fonte são mais penetrantes do que um feixe de elétrons proveniente de um acelerador. Raios gama com energia média de 1,25 MeV, provenientes da fonte de ^{60}Co , tem um poder de penetração na água, de aproximadamente 12 g/cm^2 (17). Portanto, pode-se irradiar materiais de densidade de 1 g/cm^3 , até com 12 cm de espessura. Outro recurso adotado para materiais com até o dobro da espessura de penetração é irradiá-los em ambos os lados, para garantir a penetração em todo o material. Outra possibilidade para líquidos é agitá-los durante a irradiação, para garantir doses homogêneas e as necessárias.

A partir da taxa de dose da fonte é possível determinar o tempo necessário de irradiação do material. O poder de penetração dos raios gama no material, a sua quantidade e a taxa de dose da fonte são parâmetros importantes para dimensioná-la.

Para calcular a rentabilidade das opções de investimento mencionadas neste trabalho, será utilizado o método de cálculo do tempo de retorno do capital (TRC), que é o período de tempo entre a entrada em funcionamento de uma instalação, e o momento de recuperação da quantia investida. Quanto mais curto este tempo, tanto mais atraente é o investimento. Este método de cálculo porém nada indica sobre o que acontece após este período, em que o investimento pode até mesmo tornar-se antieconômico. É um método simples e portanto, é largamente utilizado. Consiste simplesmente no cálculo do quociente entre o investimento do capital (IC) e a entrada em caixa líquida anual ou lucro (L), segundo a seguinte equação:

$$TRC = \frac{IC}{L} \quad (16)$$

A análise da sensibilidade ou do ponto de equilíbrio (PE) é uma técnica que pode ser gráfica ou algébrica. É amplamente utilizada devido a sua simplicidade e a sua capacidade para considerar a incerteza de estimativas particulares. Considera, geralmente, apenas uma estimativa por vez. Assim o PE é dado pela igualdade entre L e CT estimados, como representado na seguinte equação 17, onde CT representa os custos totais, CV são custos variáveis e CF os custos fixos.

$$CT = CV + CF = L \quad (17)$$

2.2 - ESTIMATIVA DE INVESTIMENTOS

A capacidade da fábrica e o processo de fabricação das luvas pelo método de imersão com coagulante, é similar à de uma outra fábrica de luvas cirúrgicas qualquer de médio porte, que utiliza o processo térmico convencional de vulcanização. Neste trabalho, o processo de irradiação do látex é considerado por batelada, porém a fabricação das luvas cirúrgicas pelo método de imersão com coagulante é considerada como uma operação contínua.

Em cada batelada 1.340 kg de látex formulado são irradiados no reator. O tempo de vulcanização, ou tempo total de exposição do látex no reator de irradiação, foi de 1,7 m³. Assim, dividindo a quantidade de látex formulado por batelada, pelo tempo teórico de exposição, obtem-se Q_i de 117,54 kg/h, considerando a eficiência de utilização da fonte de 91%. A capacidade anual de irradiação (Q_iT) calculada será então de 940 toneladas.

A Tabela 1 mostra os itens considerados para estimar o IC desta fábrica, projetada com uma capacidade de fabricação diária de 11.000 pares de luvas cirúrgicas e uma capacidade de irradiação da fonte de 117,54 kg/h. Esses itens foram organizados em grupos e somados os sub-totais de cada um deles. Os quatro principais grupos considerados são: estocagem e formulação, irradiação, processo e miscelânea.

A ESTOCAGEM E FORMULAÇÃO, é constituída pelos equipamentos necessários para estocar o látex, que são 2 tambores, de fibra de vidro com 15.000 L de capacidade e, para formular o látex, que são 3 tambores usados para agitação e 1 para misturar, com 1,7 m³ de capacidade cada um. Os respectivos preços apresentados na Tabela 5 foram fornecidos pela fábrica de médio porte. No mesmo grupo inclui-se as áreas de estocagem, de descarga e corredores cujo total foi de 898 m², custando US\$100 por metro quadrado construído (12). As áreas de laboratório, oficina, escritório e de serviços atingem uma área total de 360m², com um preço por metro quadrado construído de US\$ 250 (12).

A IRRADIAÇÃO, é constituída pelo equipamento necessário para irradiar o látex

armulado. Os componentes são os seguintes: o irradiador úmido, tipo esteira, onde se inclui a piscina de armazenamento; o mecanismo de elevação; os sistemas auxiliares e de segurança que inclui a ponte rolante; o sistema desmineralizador de água e o sistema de detetores; as fontes radioativas, que tem um valor no mercado argentino de US\$ 1,2/Ci (12), adquiridas totalmente encapsuladas, cujo valor adicional foi de US\$ 0,061/Ci (0). No valor da fonte inclui-se os gastos de transporte. O valor do irradiador de US\$ 391.000. Neste grupo total de itens foram também incluídos os gastos com a construção civil, cuja área ocupada por esta unidade foi de 196 m² a um preço de US\$ 300 por Ci (12). Por último, foi considerado o valor do reator de irradiação, com uma capacidade de 1,7 m³, com 1.800 mm de altura e 1.300 mm de diâmetro e, também, os gastos relativos à montagem eletromecânica de todos os equipamentos, que estão taxados em 10% sobre o custo total dos equipamentos.

Em PROCESSO inclui-se a maquinaria referente à fabricação de luvas cirúrgicas pelo método de imersão com coagulante, projetada para operar de forma contínua, 24 horas por dia, produzindo em uma unidade 11.000 pares de luvas por dia. O preço, foi fornecido pela fábrica de médio porte, que utiliza o processo térmico convencional. Também inclui-se a área ocupada por esta unidade de fabricação que dá um total de 300 m², a um preço de US\$ 250 por metro quadrado construído.

Em MISCELÂNEA se encontra tudo o que se refere aos equipamentos leves, tais como carros hidráulicos, tambores de estocagem de látex e de reagentes químicos, balança, além dos equipamentos referentes aos ambientes de laboratório e aos ambientes de escritório. Encontram-se também os gastos referentes à aquisição do total de terreno, na qual vai ser montada a fábrica, que é de 1.824 m² a um preço de US\$ 70 por metro quadrado. Esse preço é referente ao local industrial da cidade de São Paulo. Inclui-se também os gastos de execução do projeto e gerenciamento da obra civil, assim como os gastos de imprevistos que foi taxado em 10% de todos os itens, exceto a máquina de luvas.

Somando todos esses itens obtém-se o valor de IC de US\$ 2.591.589.

TABELA 1 - Estimativa de investimento de capital da fábrica de luvas cirúrgicas que utiliza o processo alternativo de vulcanização (US\$).

Discriminação	Valores	
ESTOCAGEM E FORMULAÇÃO		192.474
1. Equipamentos		12.674
Estocagem de látex fresco (2 unidades)	11.724	
Tambor/agitação (3 unidades)	450	
Tambor/mistura (1 unidade)	500	
2. Área de laboratório, oficina, escritório e serviços		90.000
3. Área de descarga, de estocagem e corredores		89.800
IRRADIAÇÃO		539.000
4. Irradiador		391.000
ponta fonte	25.000	
mecanismo de elevação	30.000	
piscina de armazenamento das fontes	30.000	
sistemas auxiliares e de segurança	180.000	
fontes radioativas	120.000	
encapsulamento	6.000	
5. Construção civil		120.000
6. Reator de irradiação (2 unidades)		10.000
7. Montagem		18.000
PROCESSO		1.575.000
8. Máquina de luvas (1 unidade)		1.500.00
9. Área de processo		75.000
MISCELÂNEA		285.115
10. Tambores, carros hidráulicos		1.200
11. Equipamento de laboratório e escritório		3.000
12. Terreno		127.680
13. Projeto e gerenciamento de obra civil		50.000
14. Balança		4.000
15. Imprevistos		99.235
Total		2.591.589

2.3 - CUSTOS DE IRRADIAÇÃO

Os custos de irradiação por kg de látex irradiado, foram estimados a partir dos CF e dos CV obtidos para o projeto da fábrica.

Nos CF foram incluídos os gastos de montagem eletromecânica e as despesas de amortização do capital, gastos na aquisição dos equipamentos, que foram calculados sobre 10 anos de amortização (15). Os equipamentos considerados (Tabela 1, itens 1, 4, 6, 7) são aqueles necessários na estocagem e na formulação do látex, além dos que compõem o sistema de irradiação. São incluídas também as despesas referentes a todas as edificações, calculadas sobre 20 anos de amortização

Tabela 1, itens 2, 3, 5) (15). Nos CF foram incluídos os gastos referentes aos juros, calculados como 10% de todos os itens da Tabela 1, exceto sobre a unidade de processamento (itens 8,9), porque não faz parte dos custos de irradiação. São incluídos também, os gastos com impostos e seguros. O valor total estimado dos CF foi de US\$ 162.066 (Tabela 2).

Nos CV, os quais dependem da capacidade de irradiação, ou seja, da quantidade de látex a ser irradiado, estão incluídas as despesas por reposição da fonte, que representa 13% sobre o valor da carga inicial (US\$ 120.000) (12). Também são incluídas as despesas relativas ao salário referente à mão-de-obra direta, formada pelos 7 funcionários encarregados pelo funcionamento da unidade de irradiação. Considera-se também, as despesas de manutenção da unidade de irradiação, que representa 15% do valor do sistema de irradiação e finalmente considera-se os gastos relativos aos serviços de dosimetria do consumo de eletricidade, água, e telefone. O valor total estimado dos CV foi de US\$ 186.250, mostrado na Tabela 2.

Os CT, que representam a somatória dos CF e dos CV, foram calculados em US\$ 348.316. Como a capacidade horária de irradiação foi calculado em 117,54 kg de látex, o custo de irradiação foi de US\$ 0,37/kg. Considerando os custos do radiosensibilizador (A-nB), que atinge no mercado nacional o preço de US\$ 3,3/kg, o custo de irradiação atinge o valor de US\$ 0,42/kg.

A Tabela 3 mostra os custos de irradiação do látex nos países asiáticos que utilizam o processo alternativo de vulcanização. Observa-se que o Brasil apresenta o maior custo de irradiação. Esses altos custos são influenciados principalmente pela baixa capacidade de irradiação, que é a nível de planta piloto e pelos custos de manutenção.

TABELA 2 - Custo de irradiação do látex com raios gama (US\$/ano)

Discriminação	Valor	
Total de custos fixos		162.066
Custos variáveis		186.250
Reposição da fonte	15.600	
Mão-de-obra	97.000	
Manutenção da instalação	58.650	
Serviços	15.000	
Capacidade, kg/h.		117,540
Custo de irradiação, US\$/kg.		0,370
Custo do radiosensibilizador, US\$/kg.		0,049
Custo de vulcanização com raios gama, US\$/kg.		0,420

TABELA 3 - Custos de irradiação do látex de borracha natural a nível mundial (US\$/kg) (11).

Tipo de irradiador	Portátil	Seco	Úmido
Capacidade de irradiação, t/ano.	150	500	1.000
China	0,239-0,254	0,16-0,18	0,134-0,142
Índia	0,41	0,20	0,10
Indonésia	0,51	0,074	0,04
Japão	1,32-1,40	1,82-0,80	0,16-0,48
Malásia	0,41	0,17	0,215
Sri Lanka	0,22	0,18	0,09
Tailândia	0,265	0,137	0,094
Brasil	-----	-----	0,42*

* calculado neste trabalho

2.4 - CUSTOS DE FABRICAÇÃO

Para fabricar diariamente 11.000 pares de luvas cirúrgicas, que representa a capacidade da unidade de processamento, consome-se 470 toneladas de látex irradiado por ano. Isto representa a metade da capacidade projetada do sistema de irradiação. Mas para efeitos de comparação, o consumo de todos os reagentes que participam na formulação do látex e a solução coagulante com nitrato de cálcio, foram calculados a partir da capacidade de 470 toneladas. As despesas anuais de fabricação, referentes a esse consumo, deu um total de US\$ 490.195 (Tabela 4).

Os demais itens, serão calculados considerando a capacidade de irradiação de 940 toneladas de látex por ano. Os itens foram os seguintes: a) despesas de mão-de-obra, de US\$ 126.640 por ano, relativos aos salários de 20 funcionários, repartidos em três turnos diários, alocados na unidade de irradiação em número de 7 e na unidade de processamento em número de 13; b) despesas com serviços, no montante de US\$ 185.000/ano, referentes ao consumo de água e de energia, telefone e dosimetria; c) despesas referentes à manutenção da instalação, de US\$ 88.650 por ano, calculadas como sendo a soma de 15% do valor do sistema de irradiação com 2% do valor da máquina de luvas (Tabela 1, itens 4 e 8); d) despesas de reposição dos lápis de ⁶⁰Co, de US\$ 15.600 por ano (Tabela 2).

TABELA 4 - Consumo anual dos reagentes químicos

Reagentes	Consumo	Valor unitário	Custo
	(t)	(US\$/kg)	US\$
Látex	381,50	1,20	457.800
An-B	7,00	3,30	22.782
KOH	0,45	15,10	6.950
Nitrato de cálcio	0,50	3,67	1.835
Álcool	0,40	2,00	800
Talco	0,07	0,40	28
Total			490.195

Portanto, o total estimado do custo de fabricação de luvas cirúrgicas pelo processo alternativo de vulcanização, foi de US\$ 906.085 por ano (Tabela 5).

Porém, a fábrica de luvas cirúrgicas de médio porte, que utiliza o processo térmico convencional na presença de enxôfre, tem um CT anual de fabricação estimado em US\$ 1.060.667

(Tabela 6). Essas despesas de mão-de-obra são referentes aos salários dos 13 funcionários, repartidos em três turnos diários. As outras despesas são referentes ao consumo dos reagentes necessários para a formulação do látex; de energia; de serviços, como água, luz, telefone; aos gastos de manutenção da instalação e; por último ao consumo de combustível, já que nas etapas de cura e pós-cura, no processo térmico convencional, é utilizado vapor vivo, para elevar a temperatura.

As estimativas dos custos de fabricação para os dois processos foram calculadas sem ser considerado os CF e sem incluir os custos de embalagem e esterilização por serem as mesmas nos dois processos. Foram considerados nos cálculos 8.000 horas efetivas de trabalho contínuo por ano e 24 horas por dia. A Tabela 7 compara os custos de fabricação para os dois processos.

Da Tabela 7, observa-se que as despesas por consumo de combustível, no processo convencional, representa aproximadamente 40% dos custos. No processo alternativo, as despesas que originam o possível encarecimento deste processo, que são a reposição da fonte e a manutenção da instalação, representam aproximadamente 12% dos custos. Por outro lado, se a capacidade de fabricação de luvas cirúrgicas fosse dobrada, isto é 22.000 pares de luvas por dia, o único item que mudaria seria as despesas de formulação do látex que dobraria o seu valor para US\$ 2.942. Os demais itens permaneceriam constantes, baixando o custo de fabricação para US\$ 0,19 por par de luvas. Esses fatos, indicam que o processo alternativo de vulcanização resultou ser mais barato na fabricação de luvas cirúrgicas pelo método de imersão com coagulante, do que o processo de vulcanização térmico convencional, cujo consumo de energia e de combustível encarece-o.

TABELA 5 - Custos de fabricação de luvas cirúrgicas pelo processo alternativo de vulcanização (US\$/ano).

Discriminação	Valor
Formulação do látex	490.195
Mão-de-obra	126.640
Serviços	185.000
Manutenção da instalação	88.650
Reposição da fonte	15.600
Total	906.085

TABELA 6 - Custos de fabricação de luvas cirúrgicas pelo processo térmico convencional (US\$/ano)

Discriminação	Valor
Formulação do látex	420.666
Mão-de-obra	29.666
Serviços	2.593
Manutenção da instalação	30.000
Consumo de energia	167.408
Consumo de combustível	410.333
Total	1.060.667

TABELA 7 - Comparação dos custos de fabricação entre os dois processos de vulcanização (US\$/dia)

Discriminação	Processo	
	Convencional	Alternativo
Formulação do látex	1.262	1.471
Mão-de-obra	89	380
Serviços	510	555
Manutenção da instalação	90	266
Combustível	1.231	-----
Reposição da fonte	-----	47
Total	3.182	2.719
Pares de luvas por dia	11.000	11.000
Custo de fabricação, US\$/par	0,289	0,247

Em seguida, serão analisadas as possíveis opções de comercialização deste processo alternativo, com a finalidade de introduzi-lo na indústria de artefato de borracha, na indústria de luvas cirúrgicas.

2.5 - OPÇÕES COMERCIAIS

A avaliação econômica foi aplicada para quatro opções comerciais, escolhidas com a finalidade de abranger as possíveis situações para investir na instalação de uma fábrica de vulcanização do látex de borracha natural com irradiação ionizante, no Brasil. E também com o objetivo de difundir essa nova tecnologia para as fábricas já existentes de produção de látex e de fabricação de luvas cirúrgicas, que quiserem modificar as técnicas até agora empregadas. As opções comerciais consideradas para o processo alternativo, são as seguintes:

Opção A - representa uma fábrica de luvas cirúrgicas, com o sistema de irradiação.

Opção B - representa uma fábrica de luvas cirúrgicas, sem o sistema de irradiação. Os serviços de irradiação são comprados.

Opção C - representa uma usina de irradiação de látex de borracha natural com 3 alternativas possíveis.

Opção D - Opção A com o investimento de capital relativo ao sistema de irradiação bancado por instituições interessadas (FAPESP, IAEA).

A avaliação econômica de cada opção comercial será baseada na análise da sensibilidade do investimento, aplicando a técnica gráfica do PE; sobre os CT e as entradas totais (ET), e também, no estudo da rentabilidade do investimento através da técnica do TRC.

A Tabela 8 mostra os resultados das estimativas do IC para cada opção comercial. Observa-se que a opção C, que representa uma usina de irradiação de látex, é a que exige menor IC; enquanto que a opção A, que representa uma fábrica de luvas cirúrgicas com o sistema de irradiação instalada, é a que exige o maior IC.

TABELA 8 - Resumo do investimento de capital para cada opção (US\$).

Discriminação	opção A	opção B	opção C	opção D
Estocagem e formulação	192.474	186.612	192.474	186.612
Irradiação	539.000	-----	539.000	28.000
Processo	1.575.000	1.575.000	-----	1.575.000
Miscelânea	285.115	230.629	277.615	234.015
Total	2.591.589	1.992.241	1.009.089	2.023.627

Os custos operativos de uma fábrica mostram o valor necessário para operá-la normalmente durante um ano. A Tabela 9 mostra as estimativas dos custos operacionais constituídos pela soma dos CF, CV e imprevistos, devido à despesas pré-operativas, que correspondem a 10% desses custos. A opção C apresenta custos operacionais da ordem de 3 vezes menores que os correspondentes às outras opções.

TABELA 9 - Estimativa dos CF e CV para todas as opções comerciais (US\$/ano)

Discriminação	opção A	opção B	opção C	opção D
Custos fixos				
1. Amortização do capital				
equipamentos diversos	193.167	150.681	43.167	154.067
edificação	18.740	12.740	14.990	12.740
2. Juros	259.159	199.224	100.909	202.363
3. Impostos e seguros	3.000	3.000	3.000	3.000
Custos variáveis				
4. Reposição da fonte	15.609	-----	15.600	15.600
5. Mão-de-obra	126.640	29.640	97.000	126.640
6. Manutenção da instalação	88.650	30.000	58.650	88.650
7. Serviços	185.000	170.000	15.000	185.000
8. Materiais diversos	2.000	2.000	2.000	2.000
9. Materiais de laboratório	2.000	2.000	2.000	2.000
10. Fretes	-----	5.875	-----	-----
11. Custo do serviço de irradiação	-----	183.300	-----	-----
12. Custos de embalagem	114.253	114.253	-----	114.253
13. Custos de esterilização	73.333	73.333	-----	73.333
Custos operacionais				
Total dos CF	474.066	365.645	162.066	372.170
Total dos CV	607.477	610.402	190.250	607.477
Imprevistos (10% sobre os custos)	108.154	97.605	35.232	97.965
Total	1.189.697	1.073.652	387.548	1.077.612

A Tabela 10 mostra mais lucrativa, porque permite calcular o valor de L a partir das despesas referentes à compra de reagentes químicos, dos CT, das vendas, que representam os valores de ET e do respectivo ICM que foi de 11%. O L obtido em cada opção comercial foi calculado como sendo a soma algébrica de $ET - (CT + ICM)$.

Como é esperado, a opção D é a mais lucrativa porque uma parte do investimento de capital é bancada por instituições financeiras. Entre as outras 3 opções, a opção A, que representa uma fábrica completa, foi a mais lucrativa. Entretanto para se decidir qual opção comercial mais vantajosa foi necessário considerar outros parâmetros econômicos, os quais serão calculados, em seguida, para cada uma das 4 opções, e analisadas comparativamente.

TABELA 10 - Receita das opções comerciais

Discriminação			Totais (US\$/ano)			
	C ¹	V ²	opção A	opção B	opção C	opção D
1. Compra de reagentes						
1. Látex	763	1,2	915.600	457.800	457.800	915.600
2. Acrilato de n-butila	14	3,3	46.200	22.782	22.782	46.200
3. Hidróxido de potássio	0,9	15,1	13.590	6.950	6.950	13.590
4. Nitrato de cálcio	0,5	3,67	1.835	1.835	-----	1.835
5. Alcool	0,1	2	800	800	-----	800
6. Talco	0,07	0,4	28	28	-----	28
7. Total de compras			978.053	490.195	487.532	978.053
8. CF			474.000	305.045	102.000	372.170
9. CV			607.477	610.402	190.250	607.477
10. CT (7+8+9)			2.059.596	1.466.212	839.818	1.957.700
11. Venda			3.000.007	3.000.007	-----	3.000.007
12. Preço de venda (US\$/par)			0,6	0,6	-----	0,6
13. Valor de latex irradiado (US\$/tambor)			500	-----	500	500
14. Total de latex irradiado (t)			940	470	940	940
15. Preço para irradiar latex (US\$/kg)			-----	-----	0,39	-----
16. ET (US\$)			3.375.000	2.200.000	1.358.300	3.375.000
17. Impostos (ICM = 11% sobre vendas)			371.250	242.000	149.413	371.250
17 L. (16-17-10) (US\$)			944.154	491.758	309.039	1.016.050

¹ Material consumido, toneladas

² Valor unitário, US\$/kg

Opção A - Fábrica de luvas cirúrgicas com o sistema de irradiação.

Nesta opção considera-se uma fábrica de luvas cirúrgicas com o sistema de irradiação de látex, com capacidade total de irradiação de 940 toneladas de látex por ano. A unidade de processamento da fábrica é desenhada para a fabricação de 11.000 pares de luvas cirúrgicas por dia, consumindo 470 toneladas de látex por ano.

O IC estimado para esta fábrica foi de US\$ 2.591.589. Neste cálculo foram considerados os investimentos para a montagem de todos os itens da Tabela 1. Os CT anuais foram estimados em US\$ 2.059.596 referentes às despesas para formular e irradiar 940 toneladas de látex, assim como, as despesas referentes à fabricação anual de 3,7 milhões de pares de luvas cirúrgicas. Nestas despesas estão incluídos os custos de embalagem, e os de esterilização. O valor da esterilização no mercado foi de US\$ 0,02 por par de luva. Os ET anuais, foram estimados a partir da venda de luvas cirúrgicas já esterilizadas a um preço estimado de US\$ 0,6 por par. Este valor é justificado pelos preços do mercado nacional, e da venda de 470 toneladas de látex irradiado que não foi processado, a um preço estimado de US\$ 500 por tambor de 200 kg. Este preço também foi justificado pelos valores de látex fresco fornecidos no mercado nacional. Em suma, as ET foram estimadas em US\$ 3.375.000. O lucro anual calculado foi de US\$ 944.154.

O TRC para a opção A foi de 2,74 anos. A análise de sensibilidade, aplicada para esta opção de investimento, pela técnica gráfica do PE atinge uma capacidade

mínima de 137 toneladas (Figura 5), o que significa que se pode operar a fábrica mantendo no máximo uma capacidade ociosa de 85%, sem haver prejuízo.

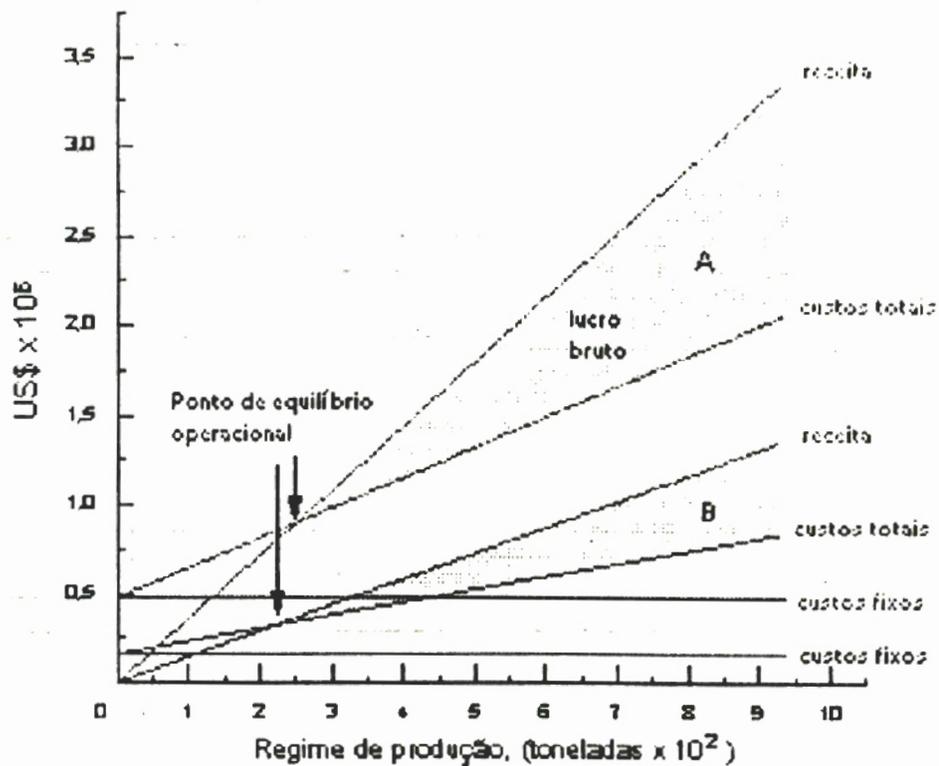


FIGURA 5 - Ponto de equilíbrio para as opções comerciais A e C.

Opção B - Fábrica de luvas cirúrgicas sem o sistema de irradiação.

Nesta opção, a fábrica de luvas cirúrgicas, que usa o processo alternativo de vulcanização tem que comprar o serviço de irradiação de terceiros. A capacidade diária de fabricação foi de 11.000 pares de luvas cirúrgicas, que representa um consumo de 470 toneladas de látex irradiado.

O IC estimado foi de US\$ 1.992.241. Neste cálculo foram considerados os investimentos necessários para ESTOCAGEM E FORMULAÇÃO e para PROCESSO E MISCELÂNEA. Os CT anuais foram estimados em US\$ 1.466.242, que correspondem às despesas devido à fabricação de 3,7 milhões de pares de luvas cirúrgicas. Os ET anuais de US\$ 2.200.000, foram estimados a partir da venda de luvas cirúrgicas já esterilizadas, a um preço de US\$ 0,6 por par. O lucro total anual calculado como na opção A, foi de US\$ 491.758.

A rentabilidade do investimento para esta opção permite um TRC de 4,05 anos. A análise da sua sensibilidade, mediante a técnica gráfica do PE, atinge uma capacidade mínima de 88 toneladas, o que significa uma capacidade máxima ociosa de 81%, sem haver prejuízo.

Opção C - Usina de irradiação de látex.

Nesta opção considera-se uma usina de irradiação de látex, com uma capacidade anual de irradiação de 940 toneladas. O IC estimado para esta usina foi de US\$ 1.009.089, os quais foram calculados a partir do investimento para a ESTOCAGEM E FORMULAÇÃO, IRRADIAÇÃO E MISCELÂNEA.

Por sua vez esta opção permite três tipos de alternativas possíveis para a receita e, conseqüentemente, CF, CV e ET podem se modificar segundo a alternativa da receita a utilizar. A primeira alternativa será oferecer somente serviços de irradiação de látex, o que significa que não há despesas por compra de reagentes para formulação de látex. A segunda alternativa considera que 50% da capacidade de irradiação, será utilizada somente para irradiar látex que será vendido às indústrias de borracha. Os outros 50% são utilizados para irradiar látices para terceiros. A terceira alternativa considera, exclusivamente, a irradiação de látex para fornecer ao mercado da indústria de borracha.

Os CT relativos às despesas de irradiação para a primeira alternativa foram estimados em US\$ 387.548, que foi um valor bem menor que o das outras alternativas. Na segunda alternativa, as despesas derivadas da compra de reagentes para a formulação do látex representam 58% sobre os CT, mas as despesas relativas aos custos de irradiação representam 42% dos CT. Por esta alternativa os CT aumentam para US\$ 839.848. Porém, na terceira alternativa as despesas com a compra de reagentes, fazem aumentar os CT para US\$ 1.327.300.

As estimativas dos ET foram calculados dependendo da receita utilizada, da seguinte maneira: para a primeira alternativa os ET foram obtidos somente através de serviços de irradiação para terceiros, com um valor de US\$ 366.600. A segunda alternativa estabelece que o ET, da venda de látex irradiado e de serviços de irradiação, atinge um valor de US\$ 1.358.300. Na terceira alternativa, os ET foram referentes ao fornecimento de látex irradiado para as indústrias de borracha, atingindo um valor de US\$ 2.350.000. De fato, observa-se que os ET para a terceira alternativa são muito superiores aos das outras alternativas, porém seus gastos também são maiores, mas proporcionais. Na primeira alternativa não se observa essa proporcionalidade sendo os custos maiores que as entradas. Isto porque a capacidade de irradiação em plantas piloto é baixa e o investimento não é rentável. O bom senso permite eliminar esta alternativa. Então, para as duas últimas alternativas serão calculadas as respectivas rentabilidades sobre seus investimentos e as suas sensibilidades sobre seus custos.

O cálculo da rentabilidade para a segunda alternativa, atinge um valor de TRC de 2,73 anos e, a análise de sensibilidade mostra uma capacidade mínima de 115 toneladas (Figura 5), que representa uma capacidade ociosa máxima de 87% sem haver prejuízo. Porém, a rentabilidade para a terceira alternativa dá um L estimado de US\$ 764.200 com um TRC igual a 1,32 anos. Como esse valor de TRC foi menor que o da segunda possibilidade, pode-se concluir que esta alternativa de fornecer látex formulado e irradiado para as indústrias de borracha foi a mais atrativa.

Opção D - Fábrica de luvas cirúrgicas com sistema de irradiação bancada.

Esta opção é similar à opção A. Foi assumido que o sistema de irradiação

é totalmente bancado por instituições interessadas no projeto. Por isso o IC desta fábrica foi calculado sem considerar o sistema de irradiação, que engloba os itens 4 e 5 da Tabela 1, atingindo um valor de US\$ 2.023.627. Porém, os cálculos e os valores estimados dos CV e os ET são similares à opção A. Entretanto os CF apresentam uma queda de 21% porque o sistema de irradiação foi totalmente bancado. Assim os CF abaixam para US\$ 372.170.

A rentabilidade desta opção, de certo modo é mais atrativa, quando comparada com as demais opções, porque o TRC foi de 1,93 anos. Mas, na análise de sensibilidade sobre os custos, não foi muito atraente, porque o PE dá um valor de 111 toneladas, o que representa uma capacidade ociosa de 88% antes de ocorrer prejuízo.

Resumo das opções

A Tabela 11 mostra os resultados das avaliações econômicas de todas as opções, demonstrando que a opção C com TRC de 2,73 anos e PE de 115 toneladas, apresenta características mais atrativas.

TABELA 11 - Comparação das opções comerciais estudadas

Opção	IC ¹ (US\$)	QT ² (t/ano)	CT ³ (US\$/ano)	ET ⁴ (US\$/ano)	LT ⁵ (US\$/ano)	PE ⁶ (t)	TRC ⁷ (anos)
A	2.591.589	940	2.059.596	3.375.000	1.315.404	137	2,74
B	1.992.241	470	1.466.242	2.200.000	733.758	88	4,05
C	1.009.089	940	839.848	1.358.300	518.452	115	2,73
D	2.023.627	940	1.957.700	3.375.000	1.117.300	111	1,93

- 1 Investimento de capital
- 2 Capacidade da fábrica
- 3 Custos totais
- 4 Entradas totais

- 5 Lucro
- 6 Ponto de equilíbrio
- 7 Tempo de retorno do capital

O que significa que é mais conveniente para um investidor, montar uma usina de irradiação para formular e irradiar látex, do que montar uma fábrica de luvas cirúrgicas com sistema de irradiação de látex. Dentro da opção C a alternativa de fornecer látex formulado e irradiado à indústria de borracha apresentou o menor valor de TRC sendo de 1,32 anos. Esta opção permite duas alternativas para o investidor se proteger das variações econômicas ou das mudanças do preço do látex.

CONCLUSÕES

A fabricação de luvas cirúrgicas pelo método de imersão com coagulante utilizando látex de borracha natural vulcanizado com raios gama, embora seja já utilizado nos países europeus, é pouco conhecido no Brasil, porque ainda as pesquisas se encontram a nível de planta piloto e também porque as fontes de alta energia, como é o caso da energia nuclear, não são ainda muito difundidas e pouco utilizadas pela indústria brasileira. Em vista disto, as indústrias de borracha ainda continuam utilizando o único processo térmico de vulcanização tradicionalmente

conhecido, embora consuma mais energia e reagentes químicos e produzam artefatos com propriedades indesejáveis.

Assim foram fabricadas, neste trabalho, luvas cirúrgicas pelo método de imersão com coagulante, a partir do látex de borracha natural vulcanizado com raios gama com uma DV de 10 kGy, na presença de 3,0 phr de An-B / 0,2 phr de KOH.

O estudo da avaliação econômica demonstra que, no Brasil, o custo de irradiação do látex é muito alto comparado com os países asiáticos, que já estão utilizando o processo alternativo de vulcanização na fabricação de luvas cirúrgicas. É de 0,42 US\$ / kg. Esses custos elevados são causados, principalmente, porque foi considerada uma capacidade de irradiação da fonte, bem menor que a considerada em plantas pilotos no Japão. Neste trabalho, foi preciso limitar a fabricação em somente 11.000 pares de luvas diárias. Esta condição foi imposta para se poder comparar os custos com uma fábrica de luvas que utiliza o processo convencional. É interessante ressaltar que, no Brasil, os custos de fabricação de luvas cirúrgicas pelo processo alternativo é menor do que os custos do processo convencional; respectivamente, US\$ 0,247 / par e US\$ 0,298 / par. Com essa restrição o processo alternativo ainda é ligeiramente mais econômico. É claro que se pode dobrar a capacidade de fabricação de luvas e, então, os custos totais diminuem significativamente, porque os custos fixos não se alteram e o aumento dos custos variáveis não é tão significativo. Desta forma o processo alternativo se torna ainda mais econômico e atrativo.

Das quatro opções comerciais estudadas a opção C, que considera a operação de uma usina de beneficiamento do látex, vulcanizando-o com raios gama, é a mais atrativa do ponto de vista de retorno de capital. Os custos de operação dessa usina, cuja atividade máxima da fonte de ^{60}Co é de 100 kCi, que irradia o látex formulado com uma dose de 10 kGy e uma capacidade de irradiação de 117,54 kg / h, foi estimado em US\$ 348.316 por ano, ou US\$ 0,375 por kg de látex irradiado. Estes custos são devido principalmente à reposição de elementos da fonte de ^{60}Co e à manutenção da piscina onde é blindada. Entretanto, se se deseja um maior lucro deve-se investir em uma fábrica de luvas cirúrgicas com o sistema de irradiação instalado. O lucro obtido é cerca de 3 vezes maior que o obtido na usina de vulcanização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - Aroonvisoot, P. & Makuuchi, K. Selection of Hydroperoxide as Co-Sensitizer for n-Butyl Acrylate. In: Japan Atomic Energy Research Institute. Radiation of natural rubber latex: Proceedings of the international symposium on..., held in Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989. Tokyo, 1990. p. 305-18 (JAERI-M-89-228).
- 2 - Brynjolfsson, A., Costs of Picowave Processing. Practical Application of Food Irradiation. In: Asia and the Pacific, Proceedings of a seminar for Asia and the Pacific on the practical application of food irradiation jointly organized by the International Atomic Energy Agency and The Food and Agriculture

- Organization of the United Nations and held in Shanghai, 7-11 April, 1986, p. 83-107, IAEA-TECDOC-452.
- 3 - Canavel, V. Efeito do antioxidante e do radiosensibilizador na estabilidade do látex de borracha natural vulcanizada com raios gama. São Paulo, 1993. (Dissertação de mestrado. IPEN/CNEN-SP).
 - 4 - Cuda, J. Optimum Plant Capacity - Technical and Economic Considerations. Rad. Phys. Chem., 25 (1-3): 411-23, 1985.
 - 5 - Curzio, O.A & Quaranta, H.C. Theoretical Evaluation of Dose Rate for a Cobalt-60 Source in a Pool Irradiator. Int. J. Radiat. Isot., 32:256-7, 1981.
 - 6 - Curzio, O.A. & Quaranta, H.C. Multipurpose Gamma Irradiation Facility Design. Int. J. Radiat. Isot. 33: 462-3, 1982.
 - 7 - Devendra, R. & Makuuchi, K. Combination Effect of Carbon Tetrachloride with 2-Ethylhexyl Acrylate as a Sensitizer for Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex. In: Japan Atomic Energy Research Institute. Radiation of natural rubber latex: Proceedings of the international symposium on..., held in Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989. Tokyo, 1990. p. 178-88 (JAERI-M-89-228).
 - 8 - Guedes, S.M.L. & Contim, A.M. Processo Alternativo de Vulcanização do Látex de Borracha Natural Induzido por Radiação Ionizante. In Associação Brasileira de Tecnologia da Borracha: Anais do quarto congresso brasileiro de tecnologia da borracha, realizado em São Paulo, 17-19 de setembro de 1991, v. 1 p. 73-89.
 - 9 - Japan Atomic Energy Research Institute. Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex: Proceeding of the International Symposium on..., held in Tokyo and Takasaki, 26-28 July, 1989. Tokyo, 1990 p. 326-35.
 - 10 - Machi, S. Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex. In: Japan Atomic Energy Research Institute. Radiation of natural rubber latex: Proceedings of the international symposium on..., held in Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989. Tokyo, 1990. p. 1-412 (JAERI-M-89-228).
 - 11 - Makuuchi, K. Progress in Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex through International Cooperation. In: Japan Atomic Energy Research Institute. Radiation vulcanization of natural rubber latex: Proceedings of the international symposium on..., held in Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989. Tokyo, 1990. p. 91-99 (JAERI-M-89-228).
 - 12 - Relat. P. Comunicação pessoal.
 - 13 - Ridwan, M. Pilot scale experiments on radiation vulcanization of Natural Rubber Latex. Rad. Phys. Chem., 25 (4-6): 887-92, 1985.
 - 14 - Souza, A. Comportamento do An-B/KOH/HPI-B na vulcanização do látex de

- borracha natural induzida com raios gama, São Paulo, 1994 (Dissertação de mestrado, IPEN/CNEN-SP).
- 15 -Sundari, F.& Marga, U. Development of Condon and Gloves from Radiaton Vulcanized Natural Rubber Latex. Center for the Aplication of Isotopes and Radiation, Indonesia (JAERI-M-89-228) p. 132-5
 - 16 -Todorov, M. I. The mechanism of radiaton vulcanization of latex. In: Second Tihany Symposium on Radiation Chemistry. Dobo, J. & Hedvig, P. (ed), Akameniai Kiado, Budapest, 1967. p. 749-56.
 - 17 -Seelmann-Eggebert, W., Pfennig, G.; Munzel, H; Klewenebenius, H. Tabla de Núclidos, Comision Nacional de Energia Nuclear., Buenos Aires, Argentina, 1981.
 - 18- Utama, M. Irradiated Latex and its Application. Final report Viena, International Atomic Energy Agency, Jan 1990 (IAEA-RU-2080).
 - 19- Willians, J.L., Dunn T.S. Radiation Sources - Gamma. Rad. Phys. Chem., 14: 185-201, 1979.
 - 20- Zhonghai & Makuuchi, K. n-Butyl Acrylate as a Sensitizer for Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex. In: Japan Atomic Energy Research Institute. Radiation of natural rubber latex: Proceedings of the international symposium on..., held in Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989. Tokyo, 1990. p. 326-335 (JAERI-M-89-228).