

PRODUÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA
DO IPEN
DEVOLVER NO BALCÃO DE
EMPRÉSTIMO

**AVALIAÇÃO TÉCNICO - ECONÔMICA DO PROCESSO
ALTERNATIVO DE VULCANIZAÇÃO: FABRICAÇÃO DE
LUVAS CIRÚRGICAS COM LÁTEX DE BORRACHA NATURAL
VULCANIZADO COM RAIOS GAMA**

HUGO D. C. COLLANTES & SELMA M. L. GUEDES

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP)

IPEN-DOC- 5069

AVALIAÇÃO TÉCNICO - ECONÔMICA DO PROCESSO ALTERNATIVO DE VULCANIZAÇÃO: FABRICAÇÃO DE LUVAS CIRÚRGICAS COM LÁTEX DE BORRACHA NATURAL VULCANIZADO COM RAIOS GAMA

I - INTRODUÇÃO

A borracha utilizada neste trabalho é obtida de fontes naturais e renováveis, disponível em quantidades comerciais. É produzida por seringueiras do gênero *Hevea* e da espécie *brasiliensis*. A borracha natural é um elastômero que forma com as resinas e as substâncias protéicas da árvore uma dispersão coloidal, cuja fase contínua líquida é a água (65-70%) e a fase descontínua sólida é a borracha (30-35%) [30].

Após a sua extração, o látex pode ser coagulado e transformado em borracha seca, ou pode ser concentrado para fabricar principalmente luvas. Tanto no mercado nacional como no internacional existem 4 tipos de látexes concentrados, a 60% de borracha seca, que estão diferenciados de acordo com o seu processo de concentração e sistema de preservação [4]. Os países asiáticos são os maiores produtores de látex. Produzem cerca de 3.5 milhões de t por ano, que representa aproximadamente 92% da produção mundial [26]. Em 1990, o Brasil produziu apenas 30.826t (peso seco), entretanto o consumo foi de 124.134t, 26% do consumo brasileiro é proveniente das seringueiras da Bahia, 17% de seringais do Acre, e 57% são provenientes de outros Estados e da Malásia [6]. No Brasil, 83,1% do látex é transformado em pneus e o restante é consumido pela indústria de artefatos leves [6]. Dos quais as luvas (85%) e os balões (10%) são os artefatos mais fabricados [27].

Esses artefatos fabricados a partir de látex concentrado, vulcanizado pelo processo térmico convencional na presença de enxofre, quando incinerados, liberam gases tóxicos (SO_x , NO_x) e cinzas poluentes (ZnO), além de causarem irritações na pele quando em contato, porque o enxofre é citotóxico [21, 25]. 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 [36], que ocorre à temperatura ambiente [20]. Em 1982, foi implantado pela *International Atomic Energy Agency* (IAEA) um projeto de cooperação técnica entre os países asiáticos: a China, a Indonésia, a Malásia, a Sri Lanka, a Tailândia e o com a liderança do Japão, o *Japan Atomic Energy Research Institute* (JAERI), para o estudo de três aspectos básicos: melhorar a qualidade dos artefatos; desenvolver irradiadores mais baratos; desenvolver radiosensibilizadores ou agentes de vulcanização que promovam a diminuição da dose de vulcanização [20].

Esse processo alternativo apresenta vantagens do ponto de vista de propriedades dos artefatos, de produção e econômicas. Os artefatos fabricados apresentam as seguintes vantagens relacionadas com os aspectos ambientais, toxicológicos e médicos [21]:

1. não contém S, ZnO e nitrosaminas, portanto, quando incinerados não produzem poluentes atmosféricos;
2. 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;
3. maior transparência (98% contra 75% pelo processo convencional);
4. maior maciez.

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, no processo convencional há duas etapas de vulcanização: a pré-vulcanização e a pós-vulcanização, que se apresentam durante a técnica de fabricação dos artefatos, as quais envolvem maior consumo de energia (Figura 1). Portanto, o processo alternativo é mais simples e consome menos energia do que o processo térmico convencional.

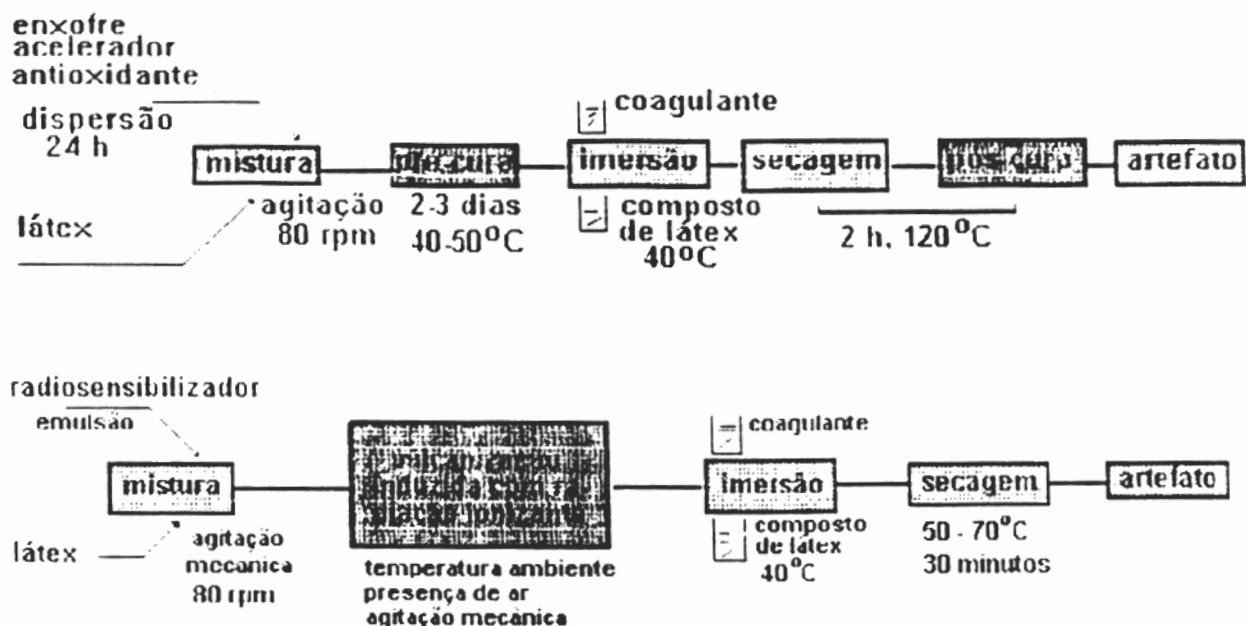


Figura 1 - Fabricação de artefatos pelo método de imersão com látex vulcanizado com RI.

A dose de vulcanização (DV) é a dose de irradiação que corresponde à máxima resistência à tração na ruptura (RT). A DV para o látex é cerca de 200kGy, o que torna o processo alternativo economicamente caro. Entretanto DV menores que 10kGy torna este processo economicamente atrativo, quando a vulcanização é induzida com raios gama na presença de agentes radiosensibilizadores [14]. A adição de 3phr (*per hundred rubber*) de An-B e 0,2phr de KOH ao látex reduz a DV para 10kGy com um ligeiro aumento da RT máxima [38]. Aroonvisoot e Makuuchi reduziram a DV para 8kGy [2, 15, 40]. Em 1983, uma planta piloto para vulcanizar o látex de borracha natural com radiação gama (Figura 2), foi instalada no Centro de Aplicações de Isótopos e Radiação, em Jakarta / Indonésia [32].

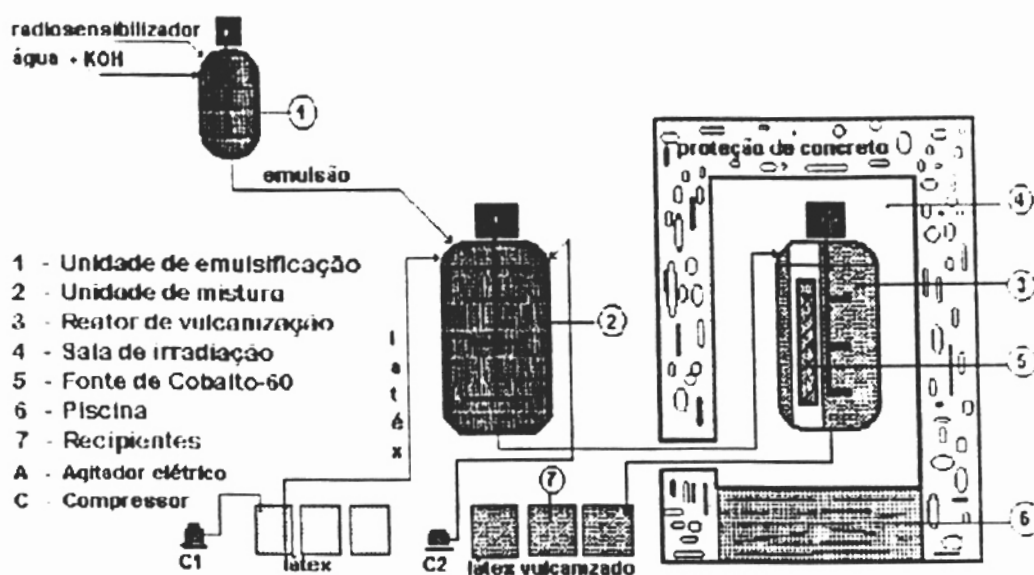


Figura 2 - Planta piloto: esquema do sistema de vulcanização do látex induzida com raios gama [32].

Uma equipe de pesquisadores do IPEN/TBR já investigou o melhor sistema de radiosensibilizador e a participação de cada componente na vulcanização [33], a estabilidade do látex irradiado [8] e a vulcanização induzida tanto com raios gama [8, 33] como com feixe de elétrons [1]. A proposta deste trabalho, que é continuação desta linha de pesquisa, visa desenvolver a aplicação industrial desse processo alternativo, que apresenta vantagens sobre o convencional, relativas às propriedades dos artefatos, com repercussão na ecologia e na medicina e, relativas ao consumo energético.

Assim este trabalho se propõe a fabricar luvas cirúrgicas, a partir do látex de borracha natural vulcanizado com raios gama, pelo método de imersão com coagulante. Por isso o látex foi vulcanizado nas condições definidas pelos pesquisadores citados acima, mas a irradiação foi feita em uma fonte comercial. Os parâmetros de processo que afetam a espessura da luva foram estudados e avaliados os graus de influência. As propriedades mecânicas das luvas, esterilizadas e não esterilizadas, envelhecidas e não envelhecidas foram comparadas com as luvas fabricadas pelo processo térmico convencional. As luvas foram fabricadas em uma instalação industrial. Os custos de fabricação das luvas cirúrgicas para ambos os processos foram calculados considerando uma

produção diária de 11.000 pares de luvas, que corresponde à produção real de uma das fábricas de médio porte, instalada no Estado de São Paulo.

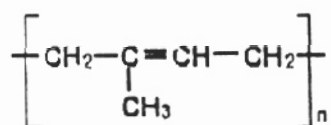
Também foram realizadas as avaliações econômicas do processo alternativo para a fabricação de luvas cirúrgicas, considerando 4 opções comerciais, e os custos de fabricação foram comparados com os do processo convencional.

II - ASPECTOS GERAIS

2.1 - Látex de borracha natural

O látex de borracha natural é uma dispersão coloidal estável em um meio essencialmente aquoso. A fase descontínua (30 - 35%) é formada: por partículas de borracha, constituídas essencialmente pelas cadeias poliméricas da molécula da borracha, que é o 1,4 cis-poliisopreno, caracterizada como um polímero unidimensional, com 100% de configuração cis [16]; além de proteínas, resinas, lipídios, sais etc, em torno de 1-2%. Essas partículas de borracha apresentam forma aproximadamente esférica e tamanho médio de 0,02 a 0,5 μ .

A molécula de borracha natural não é produzida na natureza pela polimerização do isopreno, mas sim, pela polimerização enzimática do isopentilpirofosfato [30]. A fórmula química molecular da borracha é:



1,4 cis-poliisopreno

onde $n = 15.000$.

A produção da borracha natural começa a partir da sangria do látex fresco que consiste de uma incisão no tronco da árvore. O látex se encontra entre a casca, que é a camada protetora constituída de células de cortiça, e o cambio que é o responsável pela expansão radial do tronco. O

látex sangrado é recolhido em tigelinhas, e imediatamente é misturado com um agente preservante. Isto porque, o látex está sujeito à ação de bactérias, provocando a sua desestabilização coloidal. Para evitar essa desestabilização ou a coacervação do látex, após a coleta, utilizam-se álcalis: amônia (1.6% de NH_3 na fase líquida), KOH e bactericidas, pentaclorofórmio de sódio (0.2%).

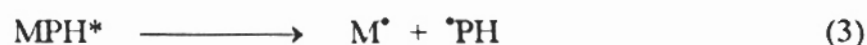
Após a preservação o látex fresco contém teor de sólidos totais entre 35 e 40%. Em seguida, é concentrado, para valores acima de 60%, devido a sua aplicação industrial e a diminuição dos custos de transporte. Os processos de concentração conhecidos e que alguns ainda estão em utilização são os seguintes: evaporação, cremagem, centrifugação e eletro-decantação [4]. O processo de centrifugação é o mais utilizado. 88% da produção da Malásia, o que representa 500.000 t de látex, são centrifugadas cada ano, por esse processo. Os 12% restantes são concentrados pelos processos de evaporação e por cremagem [9]. A centrifugação consiste em multiplicar o campo gravitacional, da ordem de múltiplos de cem, mediante a utilização de um campo centrífugo, obtido através de uma centrífuga de alta rotação. O látex, concentrado por esse processo é mais puro do que os concentrados por outros processos. Só pelo processo de centrifugação, parte dos constituintes não borracha, que atuam como inibidores no processo de vulcanização induzido com radiação ionizante, são removidos, melhorando desta forma as propriedades mecânicas dos artefatos fabricados a partir do látex [24].

2.2 - Vulcanização do látex de borracha natural

O processo de vulcanização, de uma maneira genérica, é um processo que consiste em promover ligações intermoleculares, ou seja, ligações cruzadas entre as moléculas poliméricas, de forma tridimensional [4, 7, 35]. Essa vulcanização convencional que ocorre na presença de calor e enxofre, foi descoberta por Charles Goodyear em 1839 [4]. A vulcanização se faz aquecendo a borracha entre 130 - 150°C, misturada com 7-10% de enxofre [39]. A reação que acontece durante a vulcanização traz como consequência a fixação do enxofre nas duplas ligações das cadeias poliisoprênicas, formando pontes de enxofre que comunicam à borracha uma estrutura tridimensional [4, 7].

O processo alternativo de vulcanização, induzido com radiação ionizante, também promove a rede tridimensional entre as moléculas da borracha, através de radicais formados na interação da radiação ionizante com o látex [21]. Quando se irradia o látex com raios gama, emitidos por uma fonte de radioisótopo de ^{60}Co , cuja energia média é de 1,25MeV, 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.

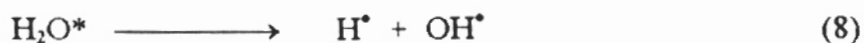
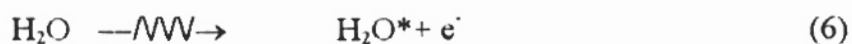
Os radicais poliméricos responsáveis pela reticulação são formados, como consequência direta ou indireta da interação da radiação ionizante. Quando a interação é direta com as moléculas poliméricas (MPH), elas se excitam (reação 1) e ocorre a cisão homolítica de ligações C-H (reação 2) e de ligações C-C (reação 3). Essas espécies têm uma alta energia cinética, que permitem migrar.



Os radicais poliméricos também são formados pela ação indireta da radiação, quando radicais CH_3^{\bullet} , e principalmente H^{\bullet} com alta energia cinética, colidem com as moléculas poliméricas e arrancam outros H^{\bullet} (reações 4 e 5).



Os radicais orgânicos são formados dentro da partícula da borracha dispersa na água (reações 2 e 3) ou são formados na fase dispersa, como consequência da radiólise da água (reações 6 e 8) [35].





Fótons e elétrons provenientes da radiação ionizante, podem arrancar um elétron da molécula de água, ionizando-a (reação 6). As moléculas excitadas de água, $\text{H}_2\text{O}^{\bullet}$, formadas pela interação direta da radiação ionizante (reação 7) ou pela recombinação de radicais com alta energia (reação 9), podem perder o excesso de energia através de mecanismos vibracionais internos, transferindo-o para outras moléculas (reação 10). Podem também sofrer cisões homolíticas (reação 8) 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 4) [17].

Durante a radiólise do látex a cadeia carbônica das moléculas poliméricas são rompidas (reação 3) mas, a reticulação (reações 11-13) ocorre em maior grau transformando as propriedades plásticas em elásticas.



III - MATERIAIS E MÉTODOS

As irradiações foram realizadas em uma fonte comercial instalada na EMBRARAD, localizada em Cotia / SP e, a fabricação foi feita nas instalações da fábrica de luvas cirúrgicas Elias Fausto Ind. Com. LTDA, localizada na cidade de Elias Fausto / SP, distante 60km da cidade de Campinas. Alguns ensaios foram realizados no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), localizado na Cidade Universitária da USP/SP.

3.1 - Reagentes

O látex de borracha natural, de grau comercial, de procedência, da Win e da Johnson & Johnson, foi caracterizado segundo a norma ASTM D 1076-09.01. Contém 60,97% de sólidos totais e 58,97% em teor de borracha seca, sendo o pH de 10,08 medido à temperatura ambiente e a densidade foi de 0,98 g/cm³, determinada conforme recomenda a norma ASTM 1076-09.01. O KOH, da Carlo Erba, de grau analítico, foi utilizado na forma de solução a 10%. O An-B, doado pela Ciquine, de grau analítico, foi utilizado como radiosensibilizador, na forma de emulsão a 50%. O Irganox 1520, de grau analítico, doado pela Ciba Geiger, utilizado na forma de emulsão a 50% e o Wingstay L, também de grau analítico, doado pela Parabor, utilizado na forma de dispersão a 50%, foram utilizados como antioxidante. O Emulwin doado pela Bayer, foi utilizado como emulsificante para o preparo das emulsões. O cloreto de cálcio, é utilizado como agente coagulante, foi obtido industrialmente, fazendo reagir HCl, a 37%, da firma Del Nero Produtos Químicos Ltda. com CaCO₃ da Oxical, na forma de pó. Esses dois reagentes são de grau industrial.

3.2 - Formulação

Na formulação do látex, foi utilizado o seguinte sistema de vulcanização: 3phr An-B / 0,2phr KOH, que foi estudado por Souza [33], para vulcanizar o látex com raios gama. A metodologia foi reduzir o conteúdo de sólidos totais para 50%. Foi adicionado, 2/3 da solução de KOH a 10% ao látex, para aumentar a sua estabilidade química. Após 5 minutos foi adicionado o An-B na forma de emulsão. Essa emulsão contém 1% de emulsificante e 1/3 da solução residual de KOH a 10%, para preservar a estabilidade química do látex [38]. Em seguida, o látex ficou em repouso durante 1 hora à temperatura ambiente. Foi estocado em três bombonas de plástico, de 200L de capacidade cada uma, durante 4 horas antes de ser irradiado.

3.3 - Irradiação

O látex formulado foi irradiado com raios gama a uma dose de 10kGy proveniente de uma fonte de ⁶⁰Co, industrial (EMBRARAD), tipo esteira, cuja taxa de dose (TD) é de 4,5 kGy/h, à

temperatura ambiente e sem nenhuma agitação. O látex irradiado foi deixado em repouso durante 10 dias. Adicionou-se 1phr de antioxidante (Irganox 1520 e Winstay-L) na forma de emulsão e deixou-se amadurecer durante 1 dia.

3.4 - Fabricação

Na fabricação das luvas cirúrgicas empregou-se o método de imersão com coagulante, porque a espessura desejada, que está dentro da faixa de 0,15 a 0,3mm, pode ser obtida em uma única imersão. O arranjo experimental necessário para avaliar os efeitos dos parâmetros na fabricação da luva cirúrgica foi montado na fábrica em Elias Fausto. É constituído dos seguintes componentes principais:

1. Moldes de porcelana, anatômicos, doados pela Johnson & Johnson.
2. Recipientes mergulhadores de plástico, contendo látex e a solução coagulante.
3. Sistema mecânico de imersão com controlador de velocidade.
4. Forno industrial, elétrico, de patrimônio da fábrica.
5. Cronômetro, para controlar a velocidade e o tempo de imersão.

O sistema mecânico de imersão com controlador de velocidade (Figura 3) foi projetado e confeccionado nas oficinas do IPEN-CNEN/SP.

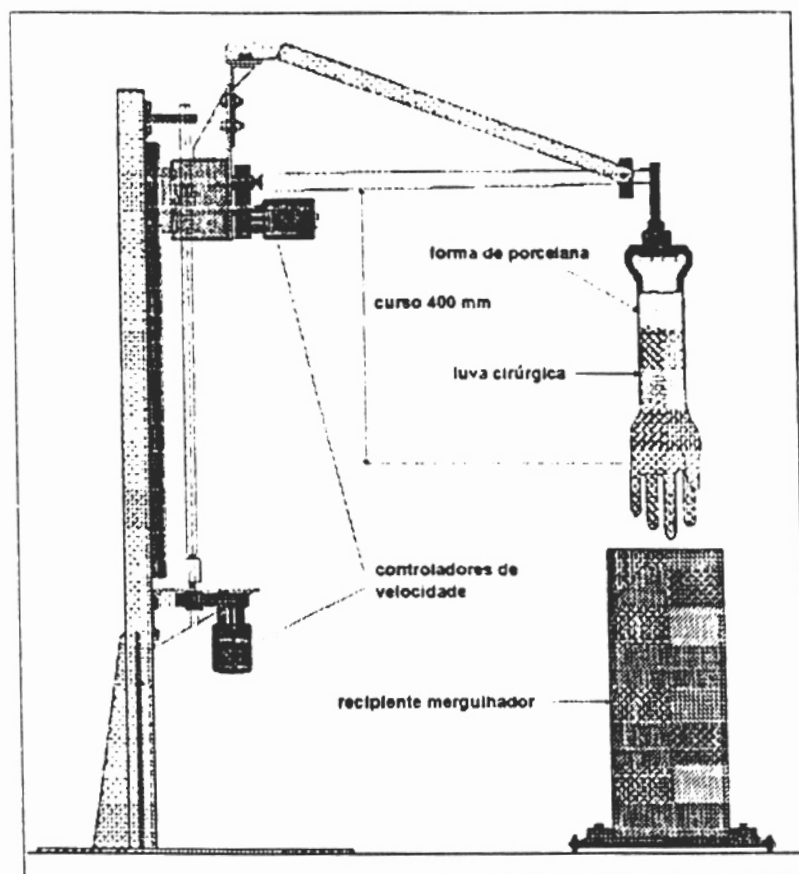


Figura 3 - Sistema mecânico de imersão.

As luvas cirúrgicas foram fabricadas usando moldes de porcelana, os quais foram lavados com solução de soda cáustica a 10% e com ácido clorídrico a 8% e, imersos em água circulante para retirar o ácido. Em seguida os moldes são secos e aquecidos na estufa a 80^oC, por 20 minutos. Os moldes são, imersos na solução coagulante, controlando o tempo e a velocidade de imersão. São deixados na posição vertical para escorrer o excesso de coagulante e são colocados na estufa por 15 minutos, para secar completamente o filme de coagulante depositado na superfície. Em seguida, é retirado da estufa e imerso no látex irradiado, com tempo e velocidade de imersão controlados. Após formado o filme de borracha na superfície do molde, faz-se a borda no punho da luva, enrolando a extremidade superior do filme por cerca de 1 a 2cm. O molde é transferido para a estufa para secagem total do filme, controlando o tempo e a temperatura de secagem. O molde imediatamente é retirado da estufa e colocado em posição vertical para desmoldar a luva

formada. A etapa de desmoldagem se realiza pulverizando talco na superfície da luva, para evitar que grude.

3.4.1 - Parâmetros de processo

Os experimentos para estudar os parâmetros de processo foram divididos em dois grandes grupos: em primeiro lugar foram definidos os parâmetros em função da espessura da luva cirúrgica. Em segundo lugar, foram definidos os parâmetros de processo em função da secagem da borracha. Para um bom controle do tempo e da temperatura de secagem, é preciso fazer ensaios de secagem e determinar a taxa de evaporação da água através da borracha, em função do tempo e da espessura da luva, assim como, verificar o mecanismo de difusão que controla o processo de secagem.

Na espessura. Os experimentos necessários, para estudar a influência dos parâmetros de processo na espessura da luva, foram planejados conforme o método estatístico de desenho fatorial fracionado em dois níveis [3]. As variáveis de processo que influenciam a espessura da luva foram definidas em função da literatura [34] e da experiência dos fabricantes [13, 18]. As cinco variáveis selecionadas são as seguintes (Tabela 1): concentração do coagulante (A); temperatura do molde, quando ele é imerso no látex irradiado (B); tempo de escoamento do coagulante da superfície do molde, quando o molde sai da solução coagulante (C); tempo de permanência do molde imerso no látex irradiado (D); e a velocidade de saída do molde do látex (E). Cada uma delas foi investigada em apenas dois níveis, um máximo e um mínimo, que correspondem à sua faixa de variação.

Tabela 1 - Faixa de variação dos parâmetros.

| Variáveis Notação, Unidades | Níveis reais e codificados | |
|--|----------------------------|------|
| | (-1) | (+1) |
| Concentração do CaCl_2 (A), % | 8,0 | 19,7 |
| Temperatura do molde (B), $^{\circ}\text{C}$ | 30,0 | 80,0 |
| Tempo de escoamento (C), s. | 3,0 | 10,0 |
| Tempo de permanência do molde (D), s | 3,0 | 12,0 |
| Velocidade de saída (E), cm/s | 2,5 | 10,0 |

O número total de ensaios realizados, determinado pelo planejamento fatorial fracionado em dois níveis, foi de 16. Cada ensaio foi realizado alterando simultaneamente os níveis das variáveis. As luvas foram fabricadas pelo método de imersão com coagulante segundo a metodologia descrita no item 3.4. Os moldes de porcelana utilizados neste trabalho, foram limpos e secos, e em seguida foram fixados verticalmente no sistema mergulhador. Foram colocados 10L da solução coagulante no recipiente mergulhador e outros 10L de látex irradiado, em um segundo recipiente mergulhador. Os motores que promovem os movimentos verticais de entrada e de saída do molde do recipiente mergulhador foram acionados. A temperatura do látex irradiado e da solução coagulante também foi a da ambiente. Após o mergulho, o molde com a borracha coagulada na superfície, passa à etapa de secagem que foi feita na linha de produção da fábrica de luvas cirúrgicas Elias Fausto Co. LTDA. Após a etapa de secagem foram desmoldadas as luvas manualmente usando talco e imediatamente foram codificadas. Foi fabricado um par de luvas para cada condição experimental. Os experimentos foram realizados sem réplicas e em ordem aleatória como mostra a Tabela 2. Em seguida foram medidas as espessuras das luvas nas regiões superior do punho, central da luva e na palma.

Na secagem. os ensaios para estudar a velocidade de secagem foram realizados com um filme de borracha coagulado sobre uma placa de vidro, obtido pelo processo de imersão com coagulante.

A obtenção dos filmes de borracha foi realizada nos laboratórios do IPEN-CNEN/SP. O arranjo experimental necessário foi o seguinte:

1. Placas de vidro de 20 x 4,5 x 0,2cm, que foram imersos no látex para a produção do filme,
2. Cuba de vidro contendo látex vulcanizado,
3. Cronômetro, para controlar o tempo de secagem,
4. Estufa com circulação interna de ar da Etil LTDA.

Foram estudadas duas condições para os ensaios de secagem: a secagem por convecção livre e a secagem por convecção forçada. Em ambas as condições foram utilizadas uma estufa com circulação interna de ar, da ETIL, a qual foi calibrada com termopares e controlada a temperatura com um registrador digital acoplado à estufa. As condições experimentais foram as seguintes: a) a

temperatura do ar atmosférico, utilizado como fluido de secagem, foi de $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$; b) a umidade relativa média do ar foi de 75,97%, medido com um higrógrafo da marca Suess modelo H-109, do Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos. Na convecção forçada, onde pretende-se estudar o grau de influência da velocidade do ar na taxa de evaporação da umidade, a circulação interna do ar foi acionada na velocidade máxima a qual é desconhecida. Um primeiro ensaio foi feito com o motor do ventilador da estufa desligado simulando secagem com convecção livre. Para esse ensaio o filme de borracha registrou um peso de 2,2372g e a espessura média do filme foi de $0,235 \pm 0,034\text{mm}$. Um segundo ensaio foi feito com o motor do ventilador ligado simulando secagem com convecção forçada, incidindo paralelamente o ar sobre as duas superfícies maiores da placa de vidro. Não foi possível determinar a velocidade do ar. Nesse ensaio o filme de borracha registrou um peso de 2,071g e a espessura média do filme foi de $0,201 \pm 0,02\text{mm}$.

* 3.4.2 - *Propriedades*

As propriedades mecânicas foram medidas usando um dinamômetro da INSTRON, tipo 3D pneumático-hidráulico, modelo 1130 com velocidade do travessão de 500 mm/minuto, instalado no IPT. Assim 8 corpos de prova (CP) foram cortados de cada luva, da região do punho, usando cunhos de corte, conforme a norma ASTM D 412-80. Foram medidas as espessuras de cada CP e calculada a média das três medidas com um coeficiente de variância máximo de 3,7%. Os CP originais foram acondicionados a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, conforme a norma ASTM D 1349-78. Na determinação do rasgo angular foi realizada uma só medida da espessura no vértice do ângulo de 45° do CP, conforme a norma ASTM D 624-91.

Envelhecimento. Os CP originais, com as suas espessuras medidas previamente, foram submetidas a teste de envelhecimento, segundo a norma ASTM D 573-78. Esse teste de envelhecimento consiste em submeter o CP original a um envelhecimento acelerado nas seguintes condições experimentais: temperatura de $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$, por $166 \pm 2\text{h}$ em uma estufa da Fanen Ltda, com ventilação forçada, tipo IIB, especificada pela norma ASTM D 145-68-81; na presença de ar e à pressão atmosférica.

IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fabricação de luvas cirúrgicas pelo método de imersão com coagulante, a partir do látex vulcanizado com radiação ionizante, é um processo inédito no Brasil. Estudou-se os efeitos das variáveis de processo na espessura da luva e o mecanismo de secagem do filme de borracha radiovulcanizada. Um outro aspecto interessante para ser investigado é a possibilidade de esterilizar as luvas cirúrgicas com raios gama. Neste caso, além da dose de 10kGy necessária para a vulcanização do látex, a luva foi esterilizada com 25kGy. A dose total recebida pelas moléculas da borracha natural foi de 35kGy. O efeito dessa dose foi estudado em função das propriedades mecânicas das luvas.

4.1 - Na espessura

Foram realizados um total de 16 ensaios planejados pela técnica estatística de desenho fatorial fracionado, em 2 níveis, com resolução V. Os resultados do planejamento fatorial serão analisados, explicando os cálculos dos efeitos e avaliando a respectiva significância, através de métodos estatísticos.

Análise do planejamento fatorial. a Tabela 2 apresenta o desenho do planejamento fatorial fracionado 2^{5-1}_V , onde se observa o planejamento dos níveis codificados na ordem de Yates e a seqüência aleatória em que os experimentos foram realizados. São apresentados também os níveis reais para as 5 variáveis de processo selecionadas. Com os resultados da espessura da luva (\bar{y}) para cada condição experimental, calcula-se os efeitos dos fatores e suas interações.

Tabela 2 - O planejamento fatorial fracionado. 2^{5-1}_V .

| Ordem | Níveis reais ¹ | | | | | Níveis codificados | | | | | (\bar{Y}) | |
|----------------|---------------------------|------|----|----|----|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| Y ² | AF ³ | A | B | C | D | E | x ₁ | x ₂ | x ₃ | x ₄ | x ₅ | (mm) |
| 1 | 14 | 8 | 30 | 3 | 3 | 10 | -1 | -1 | -1 | -1 | +1 | 0,165 |
| 2 | 5 | 19,7 | 30 | 3 | 3 | 2,5 | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0,214 |
| 3 | 9 | 8 | 80 | 3 | 3 | 2,5 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | 0,183 |
| 4 | 2 | 19,7 | 80 | 3 | 3 | 10 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | 0,233 |
| 5 | 15 | 8 | 30 | 10 | 3 | 2,5 | -1 | -1 | +1 | -1 | -1 | 0,157 |
| 6 | 8 | 19,7 | 30 | 10 | 3 | 10 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | 0,207 |
| 7 | 10 | 8 | 80 | 10 | 3 | 10 | -1 | +1 | +1 | -1 | +1 | 0,175 |
| 8 | 1 | 19,7 | 80 | 10 | 3 | 2,5 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | 0,215 |
| 9 | 16 | 8 | 30 | 3 | 12 | 2,5 | -1 | -1 | -1 | +1 | -1 | 0,205 |
| 10 | 6 | 19,7 | 30 | 3 | 12 | 10 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | 0,250 |
| 11 | 12 | 8 | 80 | 3 | 12 | 10 | -1 | +1 | -1 | +1 | +1 | 0,223 |
| 12 | 3 | 19,7 | 80 | 3 | 12 | 2,5 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | 0,291 |
| 13 | 13 | 8 | 30 | 10 | 12 | 10 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | 0,199 |
| 14 | 7 | 19,7 | 30 | 10 | 12 | 2,5 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | 0,238 |
| 15 | 11 | 8 | 80 | 10 | 12 | 2,5 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | 0,192 |
| 16 | 4 | 19,7 | 80 | 10 | 12 | 10 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0,254 |

¹ Variáveis mostradas na Tabela 1.

² Ordem de Yates.

³ Aleatória.

Os efeitos foram calculados com o pacote estatístico STATGRAPH, e são apresentados na Tabela 3. Para avaliar quais efeitos são realmente significantes, sobre a espessura da luva, foi utilizado o método de probabilidade normal. Este método considera que os efeitos desprezíveis têm distribuição zero. Quando esses efeitos são colocados no gráfico de probabilidade normal (Figura 3) eles tenderão a se agrupar em uma linha reta que passa pelo ponto (0,0). Os efeitos significativos terão médias diferentes de zero e estarão afastados da linha reta.

Tabela 3 - Estimativa dos efeitos.

| Efeitos | Estimativa |
|-----------|------------|
| Média | 0,212 |
| A | 0,050 |
| B | 0,016 |
| C | -0,016 |
| D | 0,038 |
| E | 0,001 |
| AB + CDE | 0,004 |
| AC + BDE | -0,002 |
| BC + ADE | -0,008 |
| AD + BCE | 0,003 |
| BD + ACE | 0,001 |
| CD + ABF | -0,006 |
| LAE + BCD | -0,005 |
| BE + ACD | -0,001 |
| CE + ABD | 0,007 |
| IDE + ABC | -0,002 |

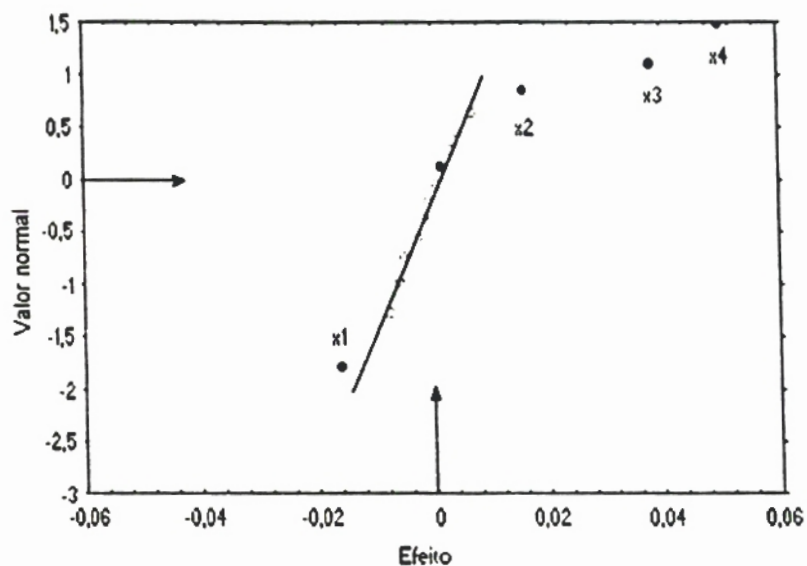


Figura 3 - Gráfico de probabilidade normal dos efeitos ($\sigma = 0,035$).

Observa-se na Figura 3 que, dos 15 efeitos estimados, 11 deles se ajustam razoavelmente como uma linha reta passando pelo ponto (0,0). São considerados não significativos. Os demais, x_1 , x_2 , x_3 , e x_4 , afastados da reta, são significativos. Isto é, a variável x_1 (concentração do coagulante) apresenta um grande efeito sobre a espessura da luva: há um aumento de 0,05mm, em média, na espessura quando a concentração do coagulante varia de 8% para 19,7%. A variável x_4 (tempo de permanência do molde imerso no látex irradiado) também apresenta um efeito significativo sobre a espessura da luva. Observa-se um aumento de 0,04mm na espessura, em média, quando o molde fica imerso 9s a mais, isto é, passa de 3s para 12s. As variáveis x_2 (temperatura do molde, quando ele é imerso no látex) e x_3 (tempo de escoamento do coagulante da superfície do molde, quando o molde sai da solução coagulante) apresentam o mesmo efeito, porém, de sinal contrário: o sinal - indica que existe uma redução de 0,02mm, em média, na espessura quando o tempo de escoamento passa de 3s para 10s, ou seja, a saída do molde se faz mais devagar. Isto pode ser explicado assim: quando a saída do molde da solução coagulante é

rápida, arrasta, um excesso de coagulante, permitindo maior depósito de borracha. Quando é lenta a saída do molde da solução coagulante há tempo para que o coagulante escorra pela superfície do molde e permita um menor depósito de borracha. O sinal + indica que existe um aumento de 0,02mm, em média, na espessura quando a temperatura do molde, antes de ser imerso no látex, passa de 40°C para 80°C. Portanto, os efeitos das variáveis x_2 e x_3 podem ser anulados, quando são variados, proporcionalmente, dentro da faixa experimental estudada. A espessura não é afetada pela velocidade de saída do molde de látex, na faixa experimental estudada.

Correlação da espessura, os cálculos dos coeficientes de regressão foram realizados utilizando o pacote estatístico STATGRAPH, e são apresentados na Tabela 4. O coeficiente de determinação de ajuste do modelo adotado é de 0,957, e o erro calculado por esse modelo é 0,009.

Tabela 4 - Coeficientes de regressão para um modelo linear.

| Varáveis | Coefficiente | σ | p |
|------------|--------------|----------|-------|
| Constantes | 0,212 | 0,002 | 0,000 |
| A | 0,025 | 0,002 | 0,000 |
| B | 0,008 | 0,002 | 0,005 |
| C | -0,008 | 0,002 | 0,005 |
| D | 0,019 | 0,002 | 0,000 |
| E | 0,001 | 0,002 | 0,753 |

Portanto, o modelo linear é expresso pela seguinte equação:

$$\hat{y} = 0,213 + 0,025 x_1 + 0,008 x_2 - 0,008 x_3 + 0,019 x_4 + 0,0007 x_5 \quad (14)$$

Analisando a equação 14, o terceiro e o quarto elementos da regressão se compensam no mesmo nível por terem coeficientes iguais e de sinal contrário, podendo ser eliminados. O último elemento pode ser desprezado, por ter coeficiente muito pequeno, e faria variar a espessura em dez milésimos de milímetro. Então a equação 14 pode ser escrita assim:

$$\hat{y} = 0,213 + 0,025 x_1 + 0,019 x_4 \quad (15)$$

onde: \hat{y} representa as estimativas da espessura da luva dada em mm; x_1 e x_4 as variáveis codificadas correspondentes as variáveis A e D; 0,213 é o valor médio da espessura, em mm.

4.2 - Na secagem

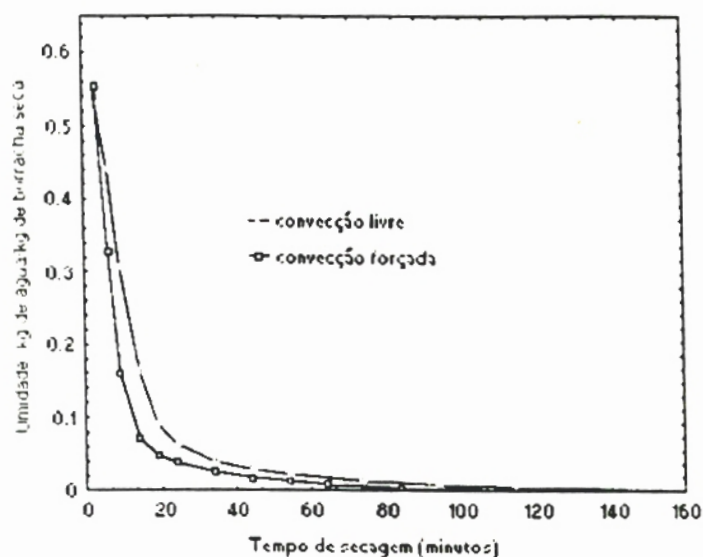
No processo alternativo de vulcanização do látex por radiação ionizante, o látex após irradiado à temperatura ambiente, está já vulcanizado [20]. Uma característica importante desse processo, é que, o látex após a vulcanização não muda sua condição de estado líquido, sendo utilizado diretamente para a fabricação de artefatos pelo método de imersão. A partir destes fatos sugere-se então secar os artefatos de borracha fabricados pelo método de imersão com coagulante. Para determinar o tempo de secagem foi necessário efetuar os ensaios de velocidade de secagem da borracha coagulada [19, 28, 37].

No ensaio de secagem do filme de borracha por convecção livre, o peso do filme seco foi de 2,2372g e a sua espessura média foi de $0,235 \pm 0,034$ mm. Na convecção forçada, o peso do filme seco foi de 2,071g e a sua espessura média foi de $0,201 \pm 0,020$ mm. As curvas de umidade versus tempo de secagem do filme de borracha coagulada, para cada tipo de convecção (Figura 4), mostram que a umidade decresce, inicialmente, de forma constante até atingir o valor da umidade de equilíbrio (X^*). Na convecção livre $X^* = 0,0021$ e na convecção forçada $X^* = 0,0015$.

Na Figura 5 são mostradas as curvas da taxa de evaporação (w ou $dx/d\theta$), em função da umidade da borracha. Observam-se vários intervalos semelhantes para ambos os tipos de convecção, onde o comportamento de secagem é diferente. Observa-se também que a umidade crítica (X_c) é praticamente igual para os dois ensaios de secagem, 0,161, mostrando que a velocidade do ar não influencia a X_c da borracha.

Período ante-crítico. O período ante-crítico para ambas as convecções é considerado o intervalo BC (Figura 5). Para a convecção forçada e para a convecção livre o intervalo obedece as seguintes equações de correlação:

Substituindo-se o valor de X_c nas equações 11 e 12, calcula-se o valor da taxa de secagem para X_c . Na convecção forçada a taxa de evaporação de $0,0576$ minutos⁻¹ é maior que na convecção livre, cujo valor é de $0,0346$ minutos⁻¹. A duração dos períodos de secagem ante-crítico, são 9,01 minutos para a convecção forçada e 14,18 minutos para a convecção livre.



$$dx/d\theta = 0,04305 - 0,0906 X \quad (11)$$

$$dx/d\theta = 0,03124 - 0,0211 X \quad (12)$$

Figura 4 - Curvas de umidade-tempo para o filme de borracha

A velocidade de secagem no ponto crítico, para cada tipo de convecção é portanto: na convecção forçada, $w_c = 0,000662 \text{ g}/(\text{minuto} \cdot \text{cm}^2)$ ou $0,397 \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$; na convecção livre, $w_c = 0,000429 \text{ g}/(\text{minutos} \cdot \text{cm}^2)$ ou $0,257 \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.

Período pós-crítico. este período que apresenta-se após a X_c é melhor observado no logaritmo da umidade em função do tempo (Figura 6). No primeiro período de secagem pós-crítico, a linha que une os pontos experimentais é aproximadamente reta para ambos os tipos de convecção. O coeficiente angular, m é dado por:

$$m = \frac{\Delta \log \frac{X - X^*}{X_0 - X^*}}{\Delta \theta} \quad (13)$$

onde X_0 é a umidade inicial do período pós-crítico.

Substituindo os valores das umidades correspondentes a esse primeiro período pós-crítico de X_0 por $X_c = 0,161$ e X^* por $0,0021$ na equação 13 e considerando o tempo final desse primeiro período que ocorre: 64 minutos após o início da secagem tem-se para a convecção forçada $m = -0,00462 \text{ minutos}^{-1}$ e 94 minutos após o início da secagem tem-se para a convecção

livre $m = - 0,00257 \text{ minutos}^{-1}$. Assim, a partir desses dados experimentais obtém-se as seguintes equações empíricas:

$$\theta = - 0,004625 \log \frac{X - X^*}{X_0 - X^*} \quad (14)$$

$$\theta = - 0,002574 \log \frac{X - X^*}{X_0 - X^*} \quad (15)$$

onde θ é o tempo de secagem pós-crítico até a umidade X , medido a partir de 9,01 minutos, que é a duração do período ante-crítico, para convecção forçada e 14,18 minutos, que é a duração do período ante-crítico, para convecção livre. Portanto, a duração do primeiro período pós crítico até a umidade final de equilíbrio será então de $64 - 9,01 = 54,99$ minutos para convecção forçada e $94 - 14,18 = 79,82$ minutos para convecção livre.

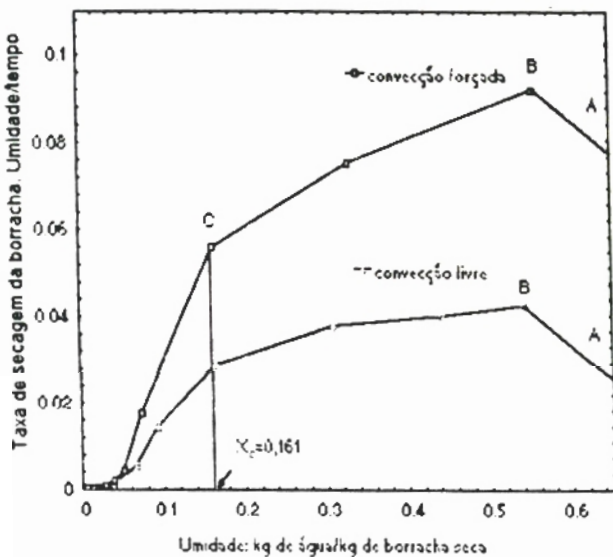


Figura 5 - Taxa de evaporação da umidade da borracha

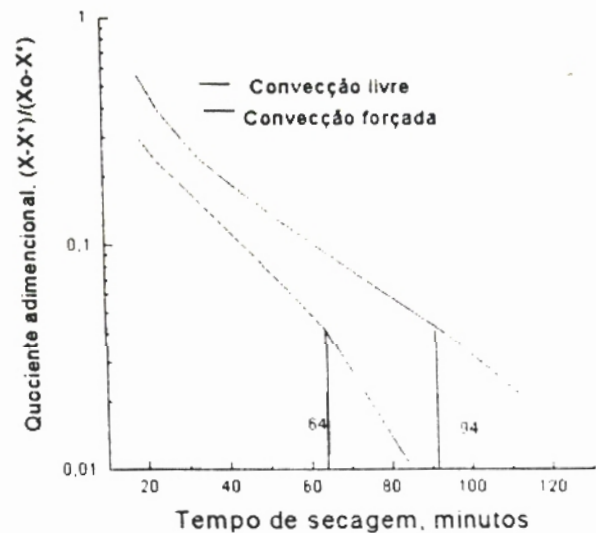


Figura 6 - Umidade em função do tempo.

4.3 - Propriedades e esterilização

Segundo o "Manual de Esterilização de Suprimentos Médicos por Radiação", preparado pela AAMI [23], estabelece que 25 kGy é uma boa dose de esterilização. Para doses menores que 25 kGy deve ser considerado o nível desejado de esterilidade [23]. Membros da AIEA estabeleceram que a dose de esterilização utilizada é em torno de 10 kGy, para evitar uma degradação acentuada da luva. Portanto, neste trabalho, as doses de esterilização escolhidas foram de 10 kGy e 25 kGy. Nenhum ensaio para avaliar a eficiência da radioesterilização foi feito.

As propriedades mecânicas das luvas cirúrgicas fabricadas pelo processo alternativo, na presença de An-B, são comparadas com as das fabricadas pelo processo térmico convencional, na presença de enxofre. Avalia-se também a possibilidade de esterilizar as luvas cirúrgicas com raios gama, em função de suas propriedades mecânicas. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Propriedades mecânicas das luvas radioesterilizadas e envelhecidas.

| Propriedades | PTC ¹ | Radioesterilizadas | | | Envelhecidas | | | |
|---------------------------|------------------|--------------------|--------|--------|------------------|--------|---------|---------|
| | | 0 kGy | 10 kGy | 25 kGy | PTC ¹ | 0 kGy | 10 kGy | 25 kGy |
| Deformação permanente, % | 3,40 | 6,30 | 9,20 | 13,30 | 3,60 | 7,20 | 12,80 | 13,15 |
| Alongamento de ruptura, % | 920,00 | 946,00 | 965,00 | 972,00 | 932,00 | 973,00 | 1020,00 | 1000,00 |
| Resistência a tração, MPa | 25,82 | 26,85 | 20,35 | 13,59 | 25,03 | 25,43 | 12,13 | 10,62 |
| Modulo a 500%, MPa | 1,56 | 1,02 | 0,72 | 0,65 | 1,29 | 0,95 | 0,78 | 0,71 |
| Rasgo angular, kgf/cm | 74,00 | 48,00 | 62,00 | 57,00 | 41,00 | 45,00 | 32,00 | 21,00 |

¹ Processo térmico convencional.

As luvas cirúrgicas fabricadas pelo processo alternativo apresentam propriedades semelhantes às fabricadas pelo processo convencional. A Resistência à tração das luvas fabricadas por ambos os processos atingem valores maiores que 24MPa que é o mínimo exigido pela norma ASTM D 3577-78a. Observa-se também que o efeito da radioesterilização nas luvas cirúrgicas fabricadas pelo processo alternativo, influi negativamente nas propriedades mecânicas, porque a Resistência à tração apresenta uma queda de 24% quando as luvas são radioesterilizadas a 10kGy, de 26,85MPa para 20,35MPa e 50% quando as luvas são radioesterilizadas a 25kGy, de 26,85MPa para 13,59MPa. Esses valores são muito inferiores ao mínimo exigido pela norma.

Após o envelhecimento das luvas não radioesterilizadas, obtidas por ambos os processos de vulcanização, observa-se que ocorrem alterações mais significantes em suas propriedades mecânicas (Tabela 5). Entretanto, quando as luvas são fabricadas pelo processo alternativo, radioesterilizadas e envelhecidas as propriedades mecânicas sofrem uma queda bastante acentuada, demonstrando que o látex, formulado não resiste a uma dose total de 20kGy ou de 35kGy.

V - AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Como foi dito, o processo alternativo de vulcanização do látex induzido com raios gama, apresenta vantagens, comparado com o processo térmico convencional porque produz artefatos com melhores qualidades relativas aos aspectos de saúde, toxicológicos e ambientais. Esse processo também apresenta algumas vantagens econômicas que serão mostradas em seguida.

A avaliação econômica foi realizada estabelecendo as seguintes condições de processamento, baseada na experiência de outros pesquisadores [10, 12, 32, 22]: a planta piloto projetada será utilizada para irradiar somente látex, com raios gama proveniente de uma fonte de ^{60}Co , tipo esteira, com uma dose de 10kGy, na presença de 3phr de An-B / 0,2phr de KOH; atividade máxima da fonte de 100kCi (úmido-submergível). A planta piloto será projetada com uma capacidade de 1.340 kg de látex/batelada; com um tempo de irradiação calculado de 11,4h cuja capacidade da fonte é de 117,54 kg de látex/h (eficiência = 91% [5]).

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 econométricos 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.

5.1 - Capacidade de irradiação e atividade da fonte de ^{60}Co

Em cada batelada 1.340kg de látex formulado serão irradiados no reator. O volume do reator será de $1,7\text{m}^3$ (1.800mm H x 1.300mm D). A taxa de dose (TD) calculada, para atingir uma DV de 10kGy, foi de 2.26 kGy/h e o tempo teórico de exposição estima-se em 11,4h. Assim, a capacidade de irradiação por hora será de 117,54 kg/h, considerando a eficiência de utilização da fonte de 91%. A capacidade anual de irradiação calculada será então de aproximadamente 940t.

A atividade da fonte pode ser calculada em função da dose requerida que é de 10kGy, da capacidade de irradiação que é de 117,54 kg/h e do fator de eficiência da fonte, que é a fração de energia absorvida pelo látex, que promove a reticulação, considerada de 0,2 [11, 29]. Portanto, a atividade da fonte requerida, será de 109.899,9Ci. Com a finalidade de facilitar os cálculos, a atividade da fonte será aproximada para 100kCi.

5.2 - Investimento de capital

Os cálculos do investimento de capital (IC) são realizados considerando o projeto de uma fábrica de luvas cirúrgicas, que utiliza o processo alternativo de vulcanização, com um irradiador industrial de ^{60}Co tipo esteira, úmido, com uma atividade máxima de 100kCi de ^{60}Co .

Tabela 6 - Estimativa do investimento de capital da fábrica de luvas cirúrgicas que utiliza o processo alternativo de vulcanização (US\$).

| Discriminação | Valores | |
|--|-----------|------------------|
| ESTOCAGEM E FORMULAÇÃO | | 192.174 |
| 1. Equipamentos | | 12.574 |
| Estocagem de látex fresco (2 unidades) | 11.724 | |
| Tambor/agitação (3 unidades) | 150 | |
| Tambor/mistura (1 unidade) | 500 | |
| 2. Área de laboratório, oficina, escritório e serviços | | 90.000 |
| 3. Área de descarga, de estocagem e corredores | | 80.800 |
| 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) | 1.500.000 | |
| 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 | | 1.000 |
| 15. Imprevistos | | 99.235 |
| Total | | 2.591.589 |

A Tabela 6 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. Os valores dos equipamentos foram fornecidos pela fábrica de médio porte [13]. As fontes radioativas, tem um valor no mercado argentino de US\$ 1,2/Ci e adquiridas totalmente encapsuladas, tem um valor adicional de US\$ 0,061/Ci [31]. Encontram-se também os gastos referentes à aquisição do total do terreno, que é de 1.824m² a um preço de US\$ 70/m². Esse preço é referente ao local industrial da cidade de São Paulo. O total do IC é de US\$ 2.591.589.

5.3 - Custos de irradiação

Os custos de irradiação por kg de látex irradiado, foram estimados a partir dos custos fixos (CF) e dos custos variáveis (CV).

Nos CF foram incluídos os gastos de montagem eletromecânica, as despesas de amortização do capital e gastos na aquisição dos equipamentos, que foram calculados sobre 10 anos de amortização [34]. Os equipamentos considerados (Tabela 6, itens 1, 4, 6 e 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 6, itens 2, 3 e 5) [34]. Nos CF foram incluídos os gastos referentes aos juros, calculados como 10% de todos os itens da Tabela 6, exceto sobre a unidade de processamento (itens 8 e 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 7).

Tabela 7 - 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 8 - Custos de irradiação do látex a nível mundial (US\$/kg).

| País | Valor |
|-----------|-------------|
| China | 0.134-0.142 |
| Índia | 0.10 |
| Indonésia | 0.04 |
| Japão | 0,16-0,48 |
| Malásia | 0,215 |
| Sri Lanka | 0.09 |
| Tailândia | 0.094 |
| Brasil | 0,42* |

*calculado neste trabalho, irradiador tipo úmido e capacidade de 1.000 t/ano.

5.4 - Custos de fabricação

Nos CV, os quais dependem da capacidade de irradiação, estão incluídas as despesas por reposição da fonte, que representa 13% sobre o valor da carga inicial (US\$ 120.000) [31]. Também são incluídas as despesas relativas à mão-de-obra direta. 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 e outros serviços de consumo. O valor total estimado dos CV foi de US\$ 186.250 (Tabela 7) e os custos totais ($CT=CF+CV$) foi de US\$ 348.316.

Como a capacidade horária de irradiação de látex foi calculada em 117,54kg, o custo de irradiação será de US\$ 0,37/kg. Considerando o custo anual do radiosensibilizador de US\$ 22.782 (US\$ 3,3/kg de A-nB), isto é, US\$ 0,049/kg de látex irradiado, o custo de irradiação sobe para US\$ 0,42/kg.

A Tabela 8 mostra os custos de irradiação do látex nos países asiáticos que utilizam o processo alternativo de vulcanização [21]. Observa-se que o Brasil apresenta o maior custo de irradiação, porque os custos de manutenção da instalação, contidos nos CV, especificamente, o tratamento da água da piscina é muito elevado. Para fabricar diariamente 11.000 pares de luvas cirúrgicas, que representa a capacidade da unidade de processamento, consome-se 470t 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 serão calculados a partir da capacidade de 470t. As despesas anuais de fabricação, referentes a esse consumo, será de US\$ 490.195.

Os demais itens, serão calculados considerando a capacidade de irradiação de 940t de látex por ano. Os itens foram os seguintes: a) despesas de mão-de-obra (20 funcionários) de US\$ 126.640/ano; b) despesas com serviços de US\$ 185.000/ano; c) despesas referentes à manutenção da instalação de US\$ 88.650/ano, calculadas como sendo a soma de 15% do valor do sistema de irradiação com 2% do valor da máquina de luvas (Tabela 6, itens 4 e 8); d) despesas de reposição dos lápis de ^{60}Co , de US\$ 15.600 por ano. Portanto, o total estimado do custo de

fabricação de luvas cirúrgicas pelo processo alternativo de vulcanização, foi de US\$ 906.085 por ano (Tabela 9). Porém, a fábrica de luvas cirúrgicas de médio porte, que utiliza o processo térmico convencional na presença de enxofre, tem um CT anual de fabricação estimado em US\$ 1.060.667 (Tabela 10). As estimativas dos custos de fabricação para os dois processos foram calculadas sem considerar os CF e sem incluir os custos de embalagem e esterilização por serem as mesmas nos dois processos. A Tabela 11 compara os custos de fabricação para os dois processos.

Tabela 9 - Custos de fabricação: processo alternativo (US\$/ano).

| Discriminação | Valor |
|--------------------------|---------|
| Formulação do látex | 190.195 |
| Mão-de-obra | 126.640 |
| Serviços | 185.000 |
| Manutenção da instalação | 88.650 |
| Reposição da fonte | 15.600 |
| Total | 906.085 |

Tabela 10 - Custos de fabricação: processo térmico convencional (US\$/ano) [13].

| 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 11 - Comparação dos custos de fabricação entre os dois processos (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 |

Da Tabela 11, 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 somente 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, do que o processo de vulcanização térmico convencional, cujo consumo de energia e de combustível encarece-o.

5.5 - 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 radiação 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 tercerizados.
- Opção C representa uma usina de irradiação de látex de borracha natural com 3 alternativas possíveis.
- Opção D Opção A com o 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 ponto de equilíbrio (PE) sobre os CT e as entradas totais (ET); e também, no estudo da rentabilidade do investimento através da técnica do tempo de retorno do capital (TRC). A Tabela 12 mostra os resultados das estimativas do IC. Observa-se que a opção C é a que exige menor IC; enquanto que a opção A é a que exige o maior IC.

Tabela 12 - Resumo do investimento de capital para cada opção (US\$).

| Discriminação | opção A | opção B | opção C | opção D |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Estocagem e formulação | 192.474 | 180.012 | 192.474 | 180.012 |
| 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 13 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 de ordem de 3 vezes menores que os correspondentes às outras opções.

Tabela 13 - 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 | 15.009 | ----- | 15.000 | 15.000 |
| 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 | 162.060 | 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 14 mostra a opção mais lucrativa, porque permite calcular o valor do lucro (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 $ET - (CT \cdot ICM)$.

Tabela 14 - Receita das opções comerciais.

| Discriminação | | | Totais (US\$ ano) | | | |
|--|----------------|----------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| Compra de reagentes | C ¹ | V ² | opção A | opção B | opção C | opção D |
| 1. Latex | 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 | 0,1 | 28 | 28 | ----- | 28 |
| 7. Total de compras | | | 978.053 | 490.195 | 487.532 | 978.053 |
| 8. CF | | | 474.000 | 305.645 | 162.000 | 372.170 |
| 9. CV | | | 607.477 | 610.402 | 190.250 | 607.477 |
| 10. CT (7+8+9) | | | 2.059.596 | 1.466.242 | 839.848 | 1.957.700 |
| 11. Venda | | | 3.066.667 | 3.066.667 | ----- | 3.066.667 |
| 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) | | | 9,40 | 470 | 9,40 | 9,40 |
| 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 | 369.039 | 1.046.050 |

¹ Material consumido (t)

² Valor unitário, US\$/kg

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 a 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.

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 940t 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 470t de látex por ano.

O IC estimado para esta fábrica foi de US\$ 2.591.589. Os CT anuais foram estimados em US\$ 2.059.596. 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. As ET anuais, foram estimadas a partir da venda de luvas cirúrgicas, esterilizadas, (US\$ 0,6/par), e da venda de 470t de látex irradiado (US\$ 500 por tambor de 200kg). No total, as ET foram estimadas em US\$ 3.375.000. O lucro anual calculado foi de US\$ 944.154.

A rentabilidade do investimento para a opção A, permite um TRC de 2,74 anos. A análise de sensibilidade, mostra que o PE atinge uma capacidade de 137t, o que significa que se pode operar a fábrica mantendo no máximo uma capacidade ociosa de 85%, sem haver prejuízo.

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 470t de látex irradiado.

O IC estimado foi de US\$ 1.992.241. Os CT anuais foram estimados em US\$ 1.466.242. Os ET anuais de US\$ 2.200.000. 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 de sensibilidade, mostra o PE de 88t, 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 940t. O IC estimado para esta usina foi de US\$ 1.009.089.

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 látex 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 qualquer planta 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 um PE de 115 t, 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. Por isso o IC desta fábrica foi calculado sem considerar o sistema de irradiação, que engloba os itens 4 e 5 da Tabela 6, 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, a análise de sensibilidade mostra o PE de 111t, o que representa uma capacidade ociosa de 88% antes de ocorrer prejuízo.

Resumo das opções. a Tabela 15 mostra os resultados das avaliações econômicas de todas as opções, demonstrando que a opção C com TRC de 2,73 anos e PE de 115t, apresenta características mais atrativas.

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.

Tabela 15 - Comparação das opções comerciais estudadas.

| Opção | IC ¹ (US\$) | QT ² (t/ano) | CT ³ (US\$/ano) | ET ⁴ (US\$/ano) | L 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 | 1.417.300 | 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.

CONCLUSÕES

Encontrou-se uma relação matemática empírica das variáveis codificadas, muito útil para a indústria, obtida a partir de métodos estatísticos (planejamento fatorial fracionado) sendo a seguinte: $y' = 0,213 + 0,025 [CaCl_2] + 0,019 t$. Observou-se que o efeito da temperatura do molde, quando ele é imerso no látex e o efeito do tempo de escoamento do coagulante da superfície do molde, demonstraram ser iguais mas de efeitos contrários, ou seja os seus efeitos são compensados na faixa experimental estudada. Com um só ciclo de imersão obteve-se uma espessura máxima de 0,2476mm. Demonstrou-se que as variáveis estudadas são independentes, não existindo interação entre elas. A velocidade de saída do molde do látex não interfere na espessura da luva. Isto significa que pode-se defini-la segundo as condições de processamento mais convenientes.

Com os ensaios de secagem obteve-se os valores de velocidade de evaporação calculada no ponto crítico, que foi de 0,3976 kg/h.m² para convecção forçada e de 0,2583 kg/h.m² para convecção livre. Isto indica que no período ante-crítico pode-se remover maior quantidade de água quando a secagem for feita por convecção forçada. A umidade crítica da borracha coagulada a partir de látex irradiado atinge um valor de 0,161 para filmes menores que 0,2mm de espessura. Na projeção industrial esses dados são úteis, porque a partir deles, foi possível encontrar as equações de correlação do período pós-crítico que podem ser utilizados para secadores em escala industrial.

As luvas cirúrgicas fabricadas pelo método de imersão com coagulante a partir do látex vulcanizado com raios gama, atingiram o valor de RT de 26,85MPa, contra 25,82MPa fabricadas pelo processo térmico convencional com enxofre. Após o envelhecimento, as mesmas luvas obtiveram um valor de RT de 25,43MPa contra 25,03MPa do processo convencional. Esses resultados mostram que o antioxidante Winstay-L fornece boa resistência térmica a artefatos de espessuras até 1mm. Observa-se também que o efeito da esterilização nas luvas cirúrgicas fabricadas pelo processo alternativo de vulcanização com raios gama com doses totais de 20kGy e 35kGy influi negativamente na RT da borracha. Uma queda de 24% e 50% da RT quando as luvas são esterilizadas a uma dose de 10 e 25kGy respectivamente, demonstra um alto grau degradativo da

borracha irradiada. Esse fato mostra a necessidade de desenvolver formulações para o látex que promovam uma maior resistência radiolítica no artefato radioesterilizado.

O estudo da avaliação econômica demonstra que, no Brasil, o custo de irradiação do látex (0,42 US\$/kg) é muito alto comparado com os países asiáticos, que já estão utilizando o processo alternativo de vulcanização na fabricação de luvas cirúrgicas. Esses custos elevados são causados, principalmente, porque foi considerada uma capacidade de irradiação da fonte, bem menor que a considerada em plantas piloto 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 (US\$ 0,247/par) é menor do que os custos do processo convencional (US\$ 0,298/par). 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. Os custos de operação dessa usina, cuja atividade máxima da fonte de ^{60}Co é de 100kCi, que irradia o látex formulado com uma dose de 10kGy e uma capacidade de irradiação de 117,54 kg/h, foi estimado em US\$ 348.316/ano, ou US\$ 0,375/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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARAÚJO, S. C. *Vulcanização do Látex de Borracha Natural Induzida com Feixe de Elétrons*. (Dissertação de mestrado IPEN/CNEN-SP) São Paulo, 1993.

- [2] AROONVISOOT, P. & MAKUUCHI, K. *Selection of Hydroperoxide as Co-Sensitizer for n-Butyl Acrylate*. In: JAPAN ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE. Tokyo, p. 305-18 (JAERI-M-89-228), 1990
- [3] BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. *Statics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*. N Y, 1978.
- [4] BRASIL. MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. SUPERINTENDÊNCIA DA BORRACHA. *Curso básico em tecnologia de elastômeros*. s.l. s.d. v. I - VI.
- [5] BRYNJOLFSSON, A. *Costs of Picowave Processing. Practical Application of Food Irradiation*. In: ASIA AND THE PACIFIC, p. 83-107. IAEA-TECDOC-452. 1986.
- [6] BRASIL. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. *anuário estatístico*. 1993. v.53. p.4.22-2. 1993.
- [7] CALVI, L. C. (ABTB). *Princípios Básicos sobre a Tecnologia*. Boletim Técnico. nº 41, p. 3-10. 1990.
- [8] CANAVEL, V. *Efeito do antioxidante e do radiosensibilizador na estabilidade do látex de borracha natural vulcanizada com raios gama*. (Dissertação de mestrado IPEN/CNEN-SP). São Paulo, 1993.
- [9] COLIN, W. E. *Developments in Rubber and Rubber Composites - I*. Great Britian. p. 79-86, 1980.
- [10] CUDA, J. *Optimum Plant Capacity - Technical and Economic Considerations*. Rad. Phys. Chem., 25 (1-3) : 411-23, 1985.
- [11] 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.
- [12] CURZIO, O. A. & QUARANTA, H. C. *Multipurpose Gamma Irradiation Facility Design*. Int. J. Radiat. Isot. 33: 462-3, 1982.
- [13] CONTIM, A.M. Comunicação pessoal.
- [14] DEVENDRA, R. & MAKUUCHI, K. *Combination Effect of Carbon Tetrachloride with 2-Ethylhexyl Acrylate as a Sensitizer for Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex*, p. 178-88 (JAERI-M-89-228), 1990.

- [15] DEVENDRA. R. & MAKUUCHI, K. *Development of new sensitizer for radiation vulcanization of natural rubber latex*. JAERL 1987.
- [16] GAZOTTL W. A. Jr.; RODRIGUEZ, M. A.; MARCO-A de PAOLI. *Estabilidade de compostos de borracha de EPDM e de Borracha Natural perante solução de glutaraldeído*. *Polimeros: Ciência e Tecnologia*, ano II, n1. p. 26-30, 1992.
- [17] GUEDES, S. M. L. & CONTIM, A. M. *Processo Alternativo de Vulcanização do Látex de Borracha Natural Induzido por Radiação Ionizante*. v. 1. p. 73-89, 1991.
- [18] JOUSSEF, A.I. Comunicação pessoal.
- [19] KEYY, B. R. *Drying: Principles and Practice*. Mc-graw Hill. 1972.
- [20] MACHI, S. *Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex*. Tokyo, p. 1-412 (JAERI-M-89-228), 1990.
- [21] MAKUUCHI, K. *Progress in Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex through International Cooperation*. Tokyo. p. 91-99 (JAERI-M-89-228), 1990.
- [22] MARTIN, V.J., MONTALBAN, A., CURBELO, S., *Evaluación económica del proceso de irradiación para una planta multipropósito*, *Food Irradiation Processing*, IAEA, Vienna, p. 379-95. 1985.
- [23] MASEFIELD, J.; DIETZ, G. R.; OWENS W. M. *Major Considerations Governing the Adoption of Cobalto-60 Sterilization*. *Rad. Phys. Chem.*, 14: 277-83. 1979.
- [24] MOHID, N.; MAKUUCHI, K.; YOSHI, F.; ISHIGAKI, I. *Effect of non-Rubber Components on Sensitized RVNRL*. Tokyo, p. 157-63 (JAERI-M-89-228) 1990..
- [25] NAKAMURA, A.; IKARASHI, Y.; TSUCHIYA, T.; KANIWA, M., *Radiation Vulcanized Natural Rubber Latex is Not Cytotoxic*. Tokyo. p. 79-87 (JAERI-M-89-228). 1990.
- [26] O ESTADO DE SÃO PAULO. *Informações sobre a cultura do látex*. Suplemento Agrícola, ano 34, nº 1855.. p 4-6. 2 de Maio de 1991
- [27] PENDLE, T. D. *The Natural Latex Industry and its Future Prospects*. *Radiation vulcanization of natural rubber latex*. Tokyo, p. 27-41. (JAERI-M-89-228). 1990.
- [28] PERRY, J. H. P. ph.D. *Manual del ingeniero químico*, Tomo I, sección 13, p. 1239-62.
- [29] PRICE, J. W. *Nuclear Radiation Detection*. McGraw-Hill Book Company. 2ed, NY. p.

24. 1964.

- [30] RAYMOND, B. & SEYMOUR, C.E.C. Jr *Polymer Chemistry an Introduction*, 2 ed. New York, p. 200-7. Mac-Graw Hill. 1987.
- [31] RELAP. Comunicação pessoal.
- [32] RIDWAN, M. *Pilot scale experiments on radiation vulcanization of Natural Rubber Latex*. *Rad. Phys. Chem.*, 25 (4-6): 887-92. 1985.
- [33] SOUZA, A. *Comportamento do An-B/KOH/HPt-B na vulcanização do látex de borracha natural induzida com raios gama*. (Dissertação de mestrado IPEN/CNEN-SP) São Paulo, 1994.
- [34] SUNDARI, F. & MARGA, U. *Development of Condon and Gloves from Radiation Vulcanized Natural Rubber Latex*. *Center for the Application of Isotopes and Radiation, Indonesia (JAERI-M-89-228)* p. 132-5.
- [35] THOMAS, E. *Effect of Non-Rubber Solids and Stabilizing Agents on Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex*. Tokyo, p. 178-88 (JAERI-M-89-228). 1990.
- [36] TODOROV, M. I. *The mechanism of radiation vulcanization of latex*. Dobo, J & Hedvig, P. (ed), Akameniai Kiado, Budapest, p. 749-56. 1967.
- [37] TRYBAL, R. E. *Operaciones de transferencias de masa*, 2ed. Cap. 12, p. 723-57. 1978.
- [38] UTAMA, M. *Irradiated Latex and its Application*. Final report Viena. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. (IAEA-RU-2080). 1990
- [39] VILLAR, G.E. *Coloides*. Montevideo, Uruguay. Mc-Graw Hill. 1863.
- [40] ZHONGHAI & MAKUUCHI, K. *n-Butyl Acrylate as a Sensitizer for Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex*. Tokyo, p. 326-335 (JAERI-M-89-228). 1990.