

"PROCESSO ALTERNATIVO DE VULCANIZAÇÃO DO LÁTEX DE BORRACHA NATURAL INDUZIDA POR RADIAÇÃO IONIZANTE"

SELMA M. L. GUEDES
 IPEN-CNEN/SP
 ANGELINA M. CONTIM
 Fábrica de Artefatos de Látex São Roque S.A.



O látex de borracha natural foi vulcanizado por dois processos diferentes: a) processo térmico convencional, na presença de enxofre; b) processo alternativo induzido por radiação ionizante (raios gama e feixe de elétrons). Foi feito um estudo comparativo da qualidade dos artefatos (luvas cirúrgicas e bexigas coloridas) fabricados por esses dois processos. Os resultados experimentais indicam a necessidade de pequenas modificações nos parâmetros que envolvem o processo alternativo induzido por raios gama. No processo alternativo induzido por feixes de elétrons há necessidade de maiores modificações, especialmente na etapa de irradiação.

VULCANIZAÇÃO INDUZIDA POR RADIAÇÃO, LÁTEX DE BORRACHA NATURAL, LUVAS CIRÚRGICAS, BEXIGAS, RAIOS GAMA, ELÉTRONS.

INTRODUÇÃO

O látex de borracha natural (LBN) é produzido em larga escala por inúmeros países. A Ásia domina a produção mundial com 3,5 milhões de toneladas/ano (92%) [1], sendo que a Malásia contribui com 75% [1]. O Brasil produz apenas 1% da produção mundial, isto é, 35 mil toneladas/ano, que corresponde a 30% do consumo interno [1].

Dentre os cinco métodos empregados na fabricação de artefatos de borracha, a partir do látex de borracha natural concentrado a 60%, o método de imersão é o mais utilizado. 60% da produção mundial é transformada em artefatos obtidos por imersão. Luvas (85%) e balões (10%) são os artefatos mais fabricados pela técnica de imersão (Tabela 1) [2].

Tabela 1. Consumo do LBN concentrado, esperado pela indústria mundial para 1991. [2]

ARTEFATO	CONSUMO (1.000 toneladas)
Luvas (para examinar)	165
Luvas (uso doméstico)	136
Luvas Cirúrgicas	40
Balões	40
Preservativos	12
Bexigas	1,8
Cateteres	1,6
Outros	2,0
Total	398,4

O processo térmico de vulcanização do látex de borracha natural na presença de enxofre é o mais empregado mundialmente, embora já exista um processo alternativo de vulcanização, com vantagens econômicas e produzindo artefatos com melhores qualidades. Esse processo alternativo é a vulcanização do látex de borracha natural induzida por radiação io-

nizante (VLBNR) [3-5]. Consiste em um método de reticular o 1-4 cispoliisopreno, disperso em fase aquosa, que acontece como consequência da interação da radiação ionizante (feixe de elétrons ou raios gama) com as moléculas poliméricas da borracha [6].

Na década de 60 muitas pesquisas sobre VLBNR foram realizadas na Inglaterra, na Rússia e em outros países [7]. Entretanto na década de 70 o interesse por esse processo foi insignificante devido a inviabilidade econômica e a baixa qualidade dos artefatos. Porém, em 1982, a IAEA retoma essas pesquisas, juntamente com o Japão e outros países asiáticos, com o objetivo de tornar esse processo comercial [8]. Hoje em dia, alguns países europeus e asiáticos já fabricam artefatos pelo processo VLBNR [5,9], tais como luvas, balões, óculos a LASER, drenos, preservativos, etc.

Os produtos obtidos pelo processo VLBNR apresentam melhores propriedades relativas aos aspectos de saúde, toxicológicos e ambientais, do que aqueles obtidos pelo processo térmico convencional, porque não contém enxofre, ZnO e nem nitrosaminas. Quando incinerados não produzem poluentes. Apresentam baixa citotoxicidade [10], alta transparência (98% contra 78% obtida no processo convencional) e alta maciez. Por isso encontram muitas aplicações médicas com vantagens, como balões, óculos a LASER, drenos, luvas, cateteres, etc.

No processo VLBNR, a etapa de vulcanização é única e ocorre à temperatura ambiente, quando as partículas de borracha natural, dispersas na água, são irradiadas. No processo térmico convencional há a etapa de pré-vulcanização e pós-vulcanização, envolvendo tempo e calor. Portanto o processo VLBNR é mais simples e consome menos energia que o processo térmico convencional. A Figura 1 e a Figura 2 mostram, respectivamente, as etapas gerais do processo térmico convencional e do processo VLBNR, para a obtenção de artefatos por imersão. Enquanto que no processo térmico convencional existem três etapas de aquecimento, no

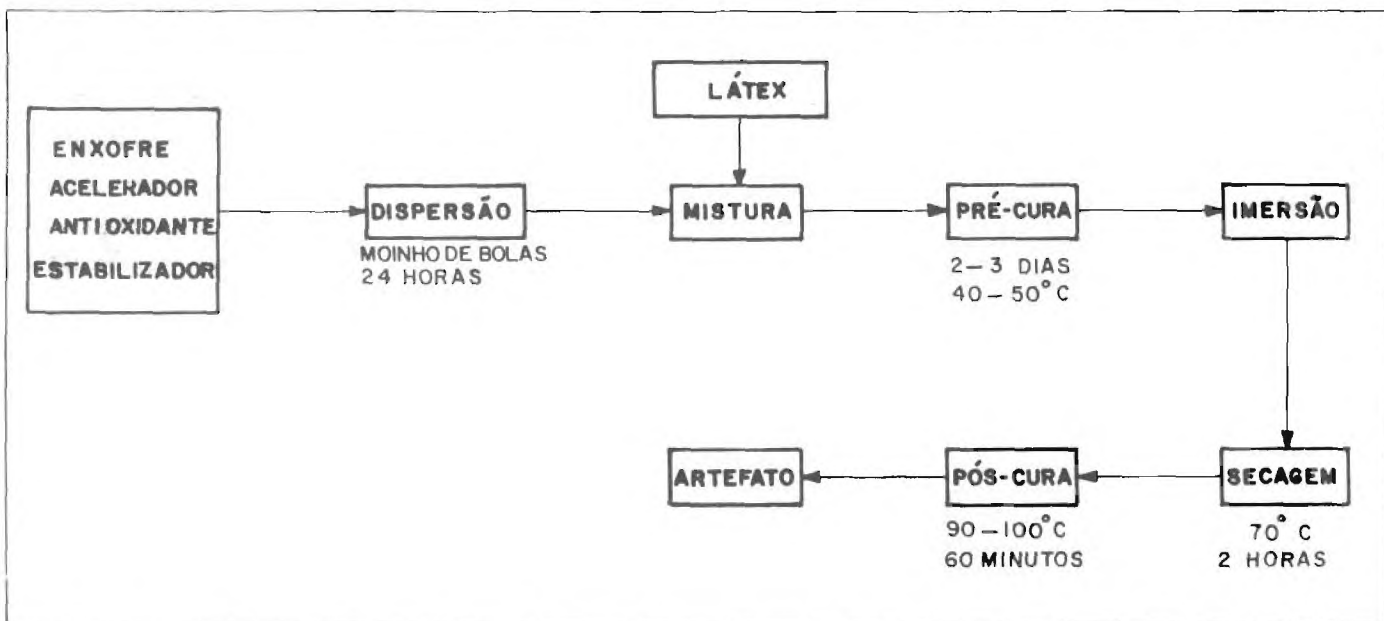


FIGURA. 1. PROCESSO TÉRMICO CONVENCIONAL DE VULCANIZAÇÃO DO LÁTEX DE BORRACHA NATURAL.

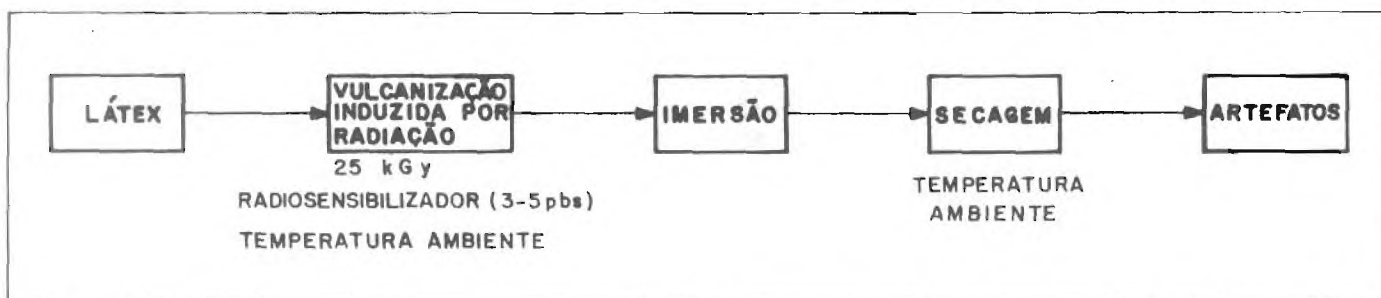


FIGURA. 2. PROCESSO DE VULCANIZAÇÃO DO LÁTEX DE BORRACHA NATURAL INDUZIDA POR RADIAÇÃO IONIZANTE.

processo VLBNR tanto a vulcanização como a secagem é feita à temperatura ambiente. Outra vantagem é que o LBN irradiado apresenta alta estabilidade química quando o látex é irradiado; b) menor consumo de produtos químicos; c) simplicidade do processo e facilidade de controle; d) menor consumo de energia.

As vantagens que o processo VLBNR apresentam sobre o convencional são: a) maior estabilidade química quando o látex é irradiado; b) menor consumo de produtos químicos; c) simplicidade do processo e facilidade de controle; d) menor consumo de energia.

Um esquema do processo VLBNR é apresentado na Figura 3 [4]. Na unidade de emulsificação (1) o radiosensibilizador é emulsionado em água durante a agitação promovida por um agitador elétrico, cuja extremidade da haste em forma de pá, é adequada para provocar uma agitação vigorosa. Essa emulsão e o LBN são transferidos para a unidade de mistura (2), onde a mistura é agora agitada lentamente. A

mistura, amadurecida por várias horas, é transferida para o reator de vulcanização (3), localizado na sala de irradiação (4), através de ar comprimido. A mistura é irradiada com raios gama provenientes de uma fonte de ^{60}Co (5), que é acionada do fundo da piscina, por controles externos à sala de irradiação. O tempo de vulcanização requerido é de várias horas e depende de vários fatores, tais como dose, taxa de dose, tipo e concentração do radiosensibilizador. Para se obter homogeneidade na dose absorvida pelo látex, a mistura 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 e o látex irradiado é transferido, pela gravidade, para recipientes adequados (7).

Na vulcanização induzida por feixe de elétrons [11], o esquema do processo VLBNR é praticamente o mesmo, apenas que o reator de vulcanização (3) é uma bandeja fechada e fixa, instalada sob o feixe de elétrons, pro

A - AGITADOR ELÉTRICO
C - COMPRESSOR

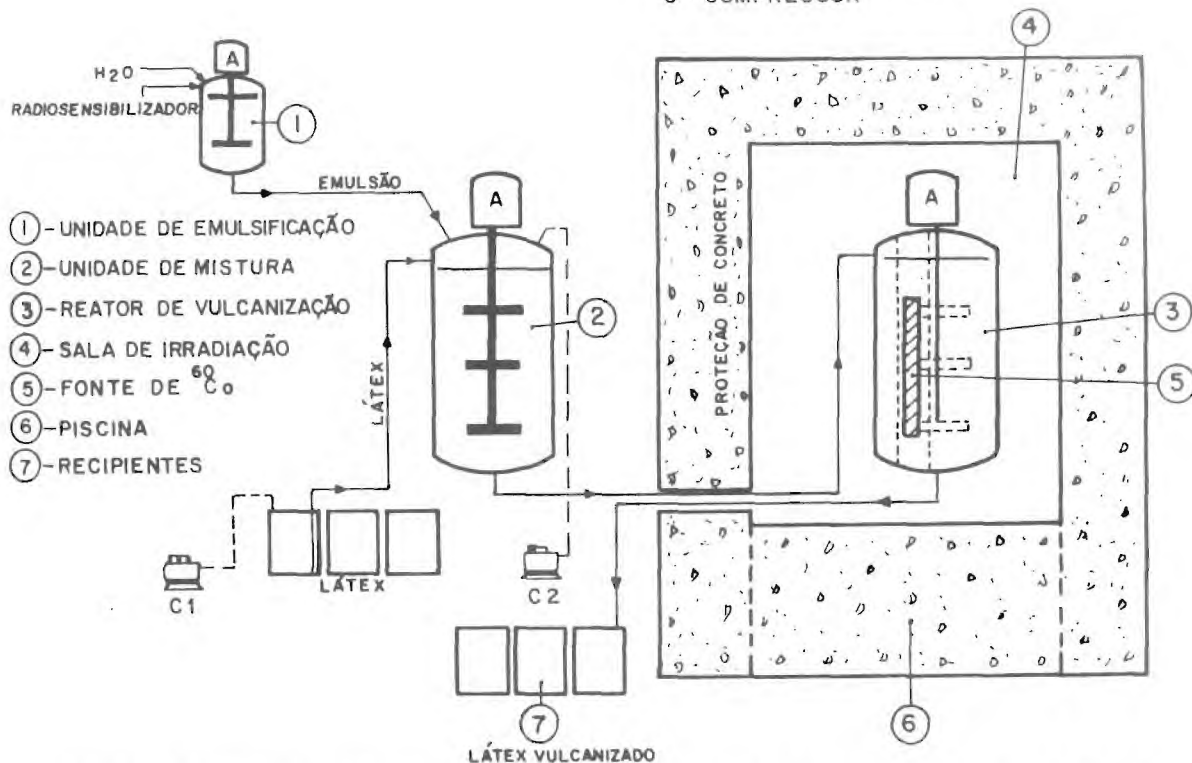


FIGURA.3. ESQUEMA DO SISTEMA DE VULCANIZAÇÃO DO LBN INDUZIDA POR RADIAÇÃO IONIZANTE

duzidos por um acelerador de elétrons. O fluxo de LBN passa sob o feixe de elétrons com uma espessura e velocidade adequadas, em função da dose de vulcanização desejada e das características do acelerador de elétrons.

No Brasil, o processo VLBNR é praticamente desconhecido e o processo térmico convencional é o único utilizado. Desta forma pretende-se iniciar a divulgação e o estudo desse processo alternativo, no Brasil. Nesta primeira experiência conjunta do IPEN-CNEN/SP com a FÁBRICA DE ARTEFATOS DE LATEX SÃO ROQUE S.A., fabricou-se luvas cirúrgicas e bexigas coloridas, tanto pelo processo térmico convencional como pelo processo alternativo, irradiando o LBN concentrado com raios gama e com feixe de elétrons. A qualidade desses artefatos mostram a necessidade de pequenos ajustes nos parâmetros do processo alternativo induzido por raios gama e ajustes maiores para o processo alternativo induzido por feixe de elétrons.

METODOLOGIA

O LBN é um líquido branco de aspecto semelhante ao leite, que pode ser definido como uma dispersão coloidal de natureza polimérica, hidrofóbica, em meio essencialmente aquoso. O LBN pré-vulcanizado, é um líquido branco não coarcebado, que por evaporação da água as partículas dispersas se unem, até se obter a borracha vulcanizada no estado sólido.

A vulcanização do LBN consiste em reci

cular as moléculas poliméricas da borracha. Os agentes de vulcanização são os que promovem as ligações cruzadas entre essas macromoléculas, melhorando as propriedades físico-mecânicas. Neste trabalho foram usados dois tipos de agentes de vulcanização: a) enxofre na forma rômica, que é empregado na vulcanização de polímeros insaturados; b) radiação ionizante que produz radicais poliméricos (raios gama e elétrons). A vulcanização também pode ser definida como o processo que provoca a transformação das propriedades plásticas da borracha para propriedades elásticas.

O LBN, concentrado a 60%, da Win, com alto teor de amônia (Tabela 2), foi vulcanizado pelo processo térmico convencional, na FÁBRICA DE ARTEFATOS DE LATEX SÃO ROQUE S.A. e pelo processo alternativo induzido por radiação ionizante. O LBN foi irradiado com raios gama na EMBRARAD e com feixe de elétrons no IPEN-CNEN/SP. As luvas cirúrgicas e as bexigas coloridas foram fabricadas na FÁBRICA DE ARTEFATOS DE LATEX SÃO ROQUE S.A., pela técnica de imersão.

Em seguida serão descritos a metodologia envolvida em cada processo e o método de imersão.

Processo térmico convencional. Consiste em vulcanizar o LBN na presença de enxofre e calor. Quando uma formulação (enxofre, aceleradores, ativadores, antioxidante, etc) é aquecida a 140°C, por exemplo, por um determinado tempo (3-5 horas), as reações de reticu

lação entre o enxofre e as moléculas poliméricas ocorrem em função do tempo de aquecimento, de maneira que as propriedades elastoméricas se acentuam.

Tabela 2. Propriedades físico-químicas do LBN*

Procedência: - WIN Ind. Com. Ltda	
Teor de borracha seca (DRC):	61,846%
Sólidos totais:	63,239
Alcalinidade:	0,45%
pH:	10,52
Ácidos graxos voláteis:	0,019
Número de KOH:	0,44
Estabilidade mecânica:	870 s
Teor de Magnésio:	38,0 ppm
Viscosidade 12:	165,0 cPs
Viscosidade 60:	102,0 cPs
Teor de coágulos:	0,002%
Densidade:	0,90g/ml

* Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM D-1076-99. A viscosidade foi obtida com o viscosímetro Brookfield.

Dez litros de LBN foi formulado adequadamente para fabricar luvas cirúrgicas e dez litros de LBN para fabricar bexigas coloridas. Os ingredientes solúveis em água foram adicionados ao látex sob a forma de solução aquosa e, os ingredientes insolúveis sob a forma de dispersão (sólidos) ou sob a forma de emulsão (líquidos). O látex formulado foi pré-vulcanizado na presença de enxofre e calor, até a obtenção do grau de reticulação desejado. Em seguida foi filtrado e processado pela técnica de imersão por coagulação.

As formulações utilizadas foram as seguintes:

a) para a fabricação de luvas cirúrgicas:

62% látex natural	162,0g
50% dispersão de acelerador	1,0g
10% solução de KOH	1,0g
20% solução estabilizante	1,0g
50% dispersão de enxofre	0,4g
50% dispersão de ZnO	0,5g
50% dispersão de antioxidante	1,0g
água até [sólidos totais] desejada.	

b) para a fabricação de bexigas coloridas:

62% látex natural	162,0g
10% solução de KOH	2,0g
50% dispersão de acelerador	1,0g
50% dispersão de enxofre	0,5g
50% dispersão de antioxidante	2,0g
20% solução estabilizante	1,0g
dispersão de pigmentos	necessário
água até [sólidos totais] desejada.	

Processo alternativo. Consiste na vulcanização do LBN induzida por radiação ionizante. A radiação ionizante ao interagir com as moléculas de borracha, produz radicais poliméricos responsáveis pela reticulação.

No látex formulado da seguinte maneira:

62% látex natural.....	162,0g
50% emulsão de CCl ₄	5,0g
10% solução de LK	0,5g
água/diluir sólidos totais até 50%	

a vulcanização foi induzida tanto por raios gama como por feixe de elétrons, na presença de radiosensibilizador. As irradiações foram realizadas à temperatura ambiente e na presença de ar. É interessante ressaltar que o látex

irradiado é um látex pré-vulcanizado que não requer vulcanização.

O CCl₄ e KOH, fornecidos pela Carlo Erba, o ácido láurico, doado pelo Henkel, foram utilizados sem qualquer purificação. Todos esses reagentes são de grau analítico.

A emulsão de CCl₄ foi preparada de forma que a concentração de CCl₄ corresponda a 5 % em peso de borracha seca (5 pbs) e a concentração do laurato de potássio (LK) a 0,5 pbs. O volume final foi calculado de forma que o total de sólidos no látex seja diluído para 50%. Uma parte da solução de LK (2/3) foi adicionada ao látex para aumentar a estabilidade química, enquanto que o restante é agitado vigorosamente com CCl₄, por 30 minutos e adicionado imediatamente ao látex. Essa mistura é agitada brandamente por uma hora e deixada amadurecer por 16 horas, à temperatura ambiente, antes de ser irradiada.

Vinte litros de látex formulado foram armazenados em um recipiente de plástico fechado e irradiados com raios gama (dose = 25kGy), provenientes de uma fonte de ⁶⁰Co (taxa de dose = 40 kGy/h), tipo esteira para fins comerciais (atividade de 76x10⁴Ci), instalada na EMBRARAD.

Vinte litros de látex formulado foram irradiados com feixe de elétrons, provenientes de um acelerador de elétrons Dynamitron (E=1,5MeV; I=25mA), instalado no IPEN, com uma dose de 80kGy (taxa de dose = 10kGy/passada). Nas condições de operação da máquina, os elétrons conseguem penetrar apenas 4,5mm de espessura de látex (densidade= 0,90g/ml). Por isso o látex foi irradiado em bandejas de plástico cobertas com rolopac. O látex irradiado foi armazenado em um recipiente de plástico fechado.

Ambos látices irradiados foram enviados à FÁBRICA DE ARTEFATOS DE LATEX SÃO ROQUE SA, a qual adicionou lpbs de antioxidante, na forma de dispersão (50%), antes de processá-lo.

Método de imersão com coagulante. O látex pré-vulcanizado pode ser transformado em artefatos por cinco métodos diferentes: moldagem, imersão, revestimento, extrusão e espumação.

O método de imersão, utilizado em todos os países do mundo, permite fabricar inúmeros produtos, tais como: luva de uso doméstico, de uso médico, de uso industrial, luva cirúrgica, balão meteorológico, bexiga, bico de mamadeira, chupeta, cateter, preservativo, protetor de dedo, tubo de látex, brinquedo, etc.

O método de imersão basicamente é simples. Consiste na imersão de um molde, limpo e seco, em látex pré-vulcanizado por um tempo apropriado e, a sua retirada lenta garante que uma camada uniforme de látex seja depositada no molde. Após a secagem dessa camada, quando o látex vulcanizado adquire a mesma forma do molde, o produto final é removido do molde. Em geral, a espessura do artefato depende da viscosidade e da concentração total de sólidos do látex pré-vulcanizado, como também da velocidade de imersão do molde. Do ponto de vista industrial há três variações do método de imersão: imersão direta, imersão com coagulante e imersão termo-sensível.

A imersão direta é o mais simples, onde o molde é imerso no látex. Se se deseja uma

camada mais espessa, seca-se essa primeira camada parcialmente e torna-se a imergir o molde no látex. A secagem completa deve ser feita após a última imersão. Esse processo pode ser repetido inúmeras vezes até se conseguir a espessura desejada. Com uma única imersão se obtém espessuras em torno de 0,05mm. O método de imersão com coagulantes, que é o mais empregado na indústria, consiste na imersão do molde em uma solução coagulante, secagem parcial e imersão no látex por um tempo adequado. Por esse método, que consiste de uma única imersão no látex, consegue-se espessuras entre 0,2 e 0,8mm. A imersão termossensível consiste em aquecer o molde entre 50-80°C, antes de ser submerso no látex com tendo um agente de gelificação. Pode-se conseguir camadas de até 4mm de espessura em uma única imersão.

Os látices com formulações diferentes conforme o processo de vulcanização, descritas anteriormente, foram processados pela FÁBRICA DE ARTEFATOS DE LATEX SÃO ROQUE SA, pelo método de imersão com coagulante. A formulação da solução coagulante utilizada na fabricação de luvas cirúrgicas e bexigas coloridas, foi a seguinte:

nitrato de cálcio	35,0%
água	30,0%
álcool	30,0%
talco	5,0%

Os tempos de imersão e secagem com a respectiva temperatura foram mantidos constantes para os dois diferentes processos de vulcanização. Entretanto, para fabricar luvas cirúrgicas e bexigas coloridas, esses parâmetros foram diferentes (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros experimentais na fabricação de luvas cirúrgicas e bexigas coloridas, pelo método de imersão com coagulante.

PARÂMETROS	LUVA CIRÚRGICA	BEXIGA COLORIDA
Tempo de imersão	30s	20s
Tempo de secagem	30min	15min
Temperatura de secagem	120°C	100°C

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando a borracha é vulcanizada pelo processo térmico convencional, na presença de enxofre, formam-se retículos ou pontes de enxofre, com diferentes estabilidades termo-químicas [12].

Os retículos mono e disulfetos são relativamente mais estáveis do que os polisulfetos ou do que os mono e disulfetos cíclicos. Estes últimos são termicamente instáveis e estão sujeitos a sucessivas reações, à medida que o artefato envelhece, com consequente alteração das propriedades físicas. Durante o envelhecimento, os retículos polisulfetos são transformados em retículos monosulfetos e monosulfeto e disulfeto cíclico. Essas mudanças contribuem para o ataque oxidativo e ruptura da cadeia principal, com perda de propriedades mecânicas (tensão de ruptura e alongamento).

Portanto o processo térmico convencional utilizado neste trabalho consiste de um

sistema de vulcanização com acelerador (lpbs) e baixo teor de enxofre (0,4pbs).

Quando o látex de borracha natural é irradiado com radiação ionizante (raios gama ou elétrons), átomos de hidrogênio (H·) da cadeia principal da molécula de borracha são formados e, espécies reativas provenientes da radiólise da água, atacam as moléculas de borracha. Essa interação direta e indireta da radiação ionizante com as moléculas de borracha produzem radicais poliméricos que são responsáveis pela reticulação [6]. É interessante notar que as ligações entre as moléculas de borracha são do tipo C-C, sem a participação de outro átomo intermediário, como ocorre no processo convencional onde a ligação é do tipo C-S-C. Por outro lado, a reação de degradação predomina em doses acima da dose de vulcanização, acarretando a perda da qualidade do artefato [13]. O processo alternativo foi experimentado, neste trabalho, sem o estudo do tipo e da concentração do melhor radiossensibilizador e do antioxidante, como também da dose de vulcanização. Sabe-se da literatura que o CCl₄ não é o melhor radiossensibilizador [14], mas pode ser usado. A concentração e as doses escolhidas foram baseadas em experimentos obtidos na literatura [13].

O látex de borracha natural, concentrado a 60%, foi analisado (Tabela 2) e formulado adequadamente para cada processo de vulcanização. As propriedades físico-químicas dos látices pré-vulcanizados, que são importantes na fabricação de artefatos de látex pelo método de imersão são apresentados na Tabela 4. A concentração de sólidos totais e as viscosidades dos látices, pré-vulcanizados com radiação ionizante, diminuem como consequência da diluição.

Conforme procedimento adotado durante a irradiação do látex com feixe de elétrons, ocorreu evaporação de água e de amônia. Para evitar a coagulação prematura e a instabilidade química do látex, foi adicionado uma solução de NH₄OH, a 30%. Por isso, as propriedades que dependem de diluição e da [OH⁻], são diferentes das do látex pré-vulcanizado com raios gama.

O grau de reticulação é um fator importante na fabricação de artefatos de látex e pode ser facilmente controlado, no processo alternativo, em função da dose de irradiação. Os graus de reticulação obtidos em ambos os processos alternativos, na ausência de enxofre, foram da mesma ordem que o obtido no processo térmico convencional. Para o látex pré-vulcanizado com feixe de elétrons, o grau de reticulação foi maior porque a dose de irradiação também foi maior (80kGy), da ordem de 4 vezes.

O látex irradiado também pode ser facilmente formulado segundo o processo de fabricação. É interessante observar que as propriedades físico-químicas dos látices pré-vulcanizados com radiação ionizante e formulados adequadamente, são semelhantes às obtidas no processo convencional, exceto a viscosidade do látex utilizado na fabricação de luvas, que foi da ordem de 10 vezes maior.

A Tabela 5 mostra as propriedades físico-químicas das luvas cirúrgicas fabricadas pelos dois processos. As propriedades físicas das luvas cirúrgicas foram as mesmas para ambos os processos. Mas as propriedades mecânicas

Tabela 4. Propriedades físico-químicas do látex pré-vulcanizado pelo processo convencional (Enxofre) e alternativo (raios gama e elétrons).

PROPRIEDADES	ORIGINAIS	ENXOFRE		RAIOS GAMA (20kGy)			ELÉTRONS (20kGy)		
		Após Formulado		Pré-vulca nizado	Após Formulado		Pré-vulca nizado	Após Formulado	
		Luva	Bexiga		Luva	Bexiga		Luva	Bexiga
% de Sólidos Totais	63,2	35,6	55,7	50,1	35,5	55,2	46,7	35,6	55,1
pH	10,52	10,24	10,90	10,27	10,27	10,27	10,91	10,91	10,91
Grau de Reticulação	--	4,35	3,70	4,10	4,10	4,10	5,00	5,00	5,00
Viscosidade 12rpm (cPs)	165,0	5,40	75,0	55,0	50,0	75,0	60,0	65,0	42,5
Viscosidade 60rpm (cPs)	102,0	5,24	50,0	26,0	30,0	50,0	42,0	50,0	35,0
Alcalinidade	0,45	--	--	0,44	--	--	1,03	--	--

cas mostram que as luvas cirúrgicas, fabricadas pelo processo alternativo são ligeiramente inferiores às fabricadas pelo processo convencional. São ligeiramente menos resistentes. Porém, as luvas fabricadas com látex vulcanizado por raios gama, apresentam propriedades mecânicas melhores que as fabricadas com látex vulcanizado com feixe de elétrons. Os testes de envelhecimento, realizados a 70°C durante 7 dias, conforme norma da ASTM 573-81, mostram, também, que as luvas fabricadas pelo processo alternativo são ligeiramente inferiores que as obtidas pelo processo convencional.

Tabela 5. Propriedades físico-mecânicas das luvas cirúrgicas fabricadas pelo processo convencional e pelo processo alternativo.

Propriedades	Radiação		
	Enxofre	Gama	Elétron
Peso (g)	14,36	14,02	13,92
Espessura (mm):punho	0,16	0,16	0,15
palma	0,20	0,20	0,21
dedo	0,23	0,24	0,24
Comprimento (cm)	31,5	31,7	31,3
Largura (cm)	10,5	10,5	10,4
Umidade (%)	0,07	0,06	0,04
Perfuração (kgf/mm)	3,36	2,33	1,5
Deformação Permanente (%)	7,0	6,5	1,0
Alongamento na ruptura (%)	950	1025	750
	950*	1000*	
Tensão na ruptura (MPa)	39,73	37,77	33,75
	43,56*	34,34*	
Módulo a 700% (MPa)	27,27	22,46	31,88
	27,37*	18,34*	
Rasgo Angular kgf/cm	126	95	30
	116*	40*	

* Propriedades obtidas após o processo de envelhecimento a 70°C durante 7 dias.

Na Tabela 6 são apresentadas as propriedades físicas específicas para as bexigas coloridas fabricadas pelos dois processos. Observa-se que as propriedades são semelhantes. Com o látex pré-vulcanizado com feixe de elétrons não foi possível retirar as bexigas do molde e, conseqüentemente, avaliar as respectivas propriedades.

Na Tabela 7 as propriedades dos artefa

tos fabricados pelo processo alternativo são tão expressas em porcentagem relativa às propriedades dos artefatos fabricados pelo processo convencional. É interessante observar que as luvas fabricadas pelo processo alternativo (raios gama), apresentam propriedades relativas à tensão ligeiramente inferiores e são menos resistentes ao rasgo e à perfuração. Entretanto as luvas fabricadas com látex vulcanizado por feixe de elétrons apresentam propriedades físico-mecânicas muito inferiores e são facilmente danificadas. As bexigas coloridas fabricadas pelo processo alternativo

Tabela 6. Propriedades físicas das bexigas coloridas fabricadas pelo processo convencional e pelo processo alternativo*.

Propriedades	Enxofre	Raios Gama
Peso (g)	1,42	1,2
Espessura (mm)	0,60	0,56
Pressão (coluna de H ₂ O)(cm)	19,75	22,5
Volume (cm ³)	8,50	6,60
Diâmetro (cm)	19,5	16,75

* Foi impossível retirar do molde as bexigas fabricadas com látex vulcanizado com feixe de elétrons.

(raios gama), apresentam propriedades físicas semelhantes. Portanto através do processo alternativo de vulcanização do látex de borraça natural, induzido por raios gama, pode-se fabricar artefatos com propriedades físico-mecânicas próximas às obtidas pelo processo térmico convencional. Outros experimentos se fazem necessários, a fim de se estudar os melhores parâmetros envolvidos na etapa de irradiação e na etapa de imersão.

CONCLUSÕES

Nesta primeira experiência conjunta para fabricar artefatos de látex vulcanizado por radiação ionizante, podemos afirmar o seguinte:

- 1) o grau de reticulação pode ser facilmente controlado em função da dose de irradiação e o látex pré-vulcanizado pode ser facilmente formulado;

Tabela 7. Comparação entre o processo alternativo e o processo convencional (a).

LUVAS CIRÚRGICAS			BEXIGAS COLORIDAS (b)	
Propriedades	Raios Gama	Elétrons	Propriedades	Raios Gama
Perfuração	69%	45%	Peso	85%
Rasgo Angular	75%	24%	Espessura	93%
Deformação Permanente	93%	14%	Pressão (coluna de água)	114%
Alongamento de Ruptura	108%	79%	Volume	75%
Tensão de Ruptura	95%	85%	Diâmetro	86%
Módulo à 700%	82%	117%		

(a) As propriedades dos artefatos fabricadas pelo processo alternativo estão expressas em % relativas às propriedades dos artefatos fabricados pelo processo convencional.

(b) Os ensaios não foram possíveis com as bexigas vulcanizadas com feixe de elétrons.

- 2) as luvas cirúrgicas, fabricadas pelo processo alternativo, apresentaram propriedades físicas iguais e propriedades mecânicas ligeiramente inferiores às propriedades das luvas cirúrgicas, fabricadas pelo processo convencional;
- 3) as bexigas fabricadas pelo processo alternativo apresentaram propriedades semelhantes às fabricadas pelo processo convencional. No entanto, as fabricadas pelo processo alternativo induzidas por feixe de elétrons não puderam ser avaliadas pela impossibilidade de retirá-las do molde;
- 4) se faz necessário aperfeiçoar o processo alternativo de vulcanização do látex, induzido por radiação ionizante, especialmente a etapa de irradiação com feixe de elétrons.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Henkel SA pela doação do ácido láurico e à EMBRARAD pelas irradiações realizadas na fonte ^{60}Co .

REFERÊNCIAS

- [1] O ESTADO DE SÃO PAULO. 29/05/91. Suplemento Agrícola, ano 34, nº 1855. pag. 4-6
- [2] PENDLE, T.D. Takasaki, Japan Atomic Energy Research Inst., 1989. (JAERI-M-89-228). (pag. 27-41).
- [3] MAKUUCHI, K. Takasaki, Japan Atomic Energy Research Inst., 1989. (JAERI-M-89-228). (pag. 91-99).
- [4] RIDWAN, M. Radiat. Phys. Chem., 25(4-6): 887-892, 1985.
- [5] TSHUSHIMA, K.; MAKUUCHI, K.; YOSHII, F.; ISHIGAKI, I. Takasaki, Japan Atomic Energy Research Inst., 1989. (JAERI-M-89-228). (pag. 127-131).
- [6] UTAMA, M. Viena, International Atomic Energy, 18/01/90. (IAEA-RU-2080). (Relatório final).
- [7] TODOROV, M.I. In Second Tihany Symposium on Radiation Chemistry. DOBO, J. & HEDVIG, P. (ed.), Akademiai Kiado, Budapest, (1967), pag. 749-756.
- [8] MACHII, S. Takasaki, Japan Atomic Energy Research Inst., 1989. (JAERI-M-89-228).
- [9] SUNDARDI, F. Takasaki, Japan Atomic Energy Research Inst., 1989. (JAERI-M-89-228). (pag. 132-145).
- [10] NAKAMURA, A.; IKARASHI, Y.; TSUCHIYA, T.; KANIWA, M. Takasaki, Japan Atomic Energy Research Inst., 1989. (JAERI-M-89-228). (pag. 79-87).
- [11] ZHONGAI, C. & MAKUUCHI, K. Takasaki, Japan Atomic Energy Research Inst., 1989. (JAERI-M-89-228). (pag. 358-367).
- [12] CURSO BÁSICO EM TECNOLOGIA DE ELASTÔMEROS,

volume I, pag. 139. Min. da Ind. e Com., Superintendência da Borracha.

[13] DEVENDRA, R. & MAKUUCHI, K. Takasaki, Japan Atomic Energy Research Inst., 1989. (JAERI-M-89-228). (pag. 368-377).

[14] AROONVISOOT, P. & MAKUUCHI, K. Takasaki, Japan Atomic Energy Research Inst., 1989. (JAERI-M-89-228). (pag. 305-318).

SUMMARY

The natural rubber latex was vulcanized by two different process: a) thermal process in the presence of sulfur; b) alternative process using radiation (gamma rays and electrons beam). The comparative study of rubber goods quality (surgical gloves and balloons) was carried out by physical and chemical properties of prevulcanized latex and physical and mechanics properties of rubber goods for two process. The results shows the necessity of small change on radiation vulcanization process with gamma rays, for example: radiation dose, type and concentration of sensitizer, etc. On radiation vulcanization process with electrons beam it is necessary to change the experimental conditions of radiation step, specially, besides another process parameters.