

VULCANIZAÇÃO DO LÁTEX DE BORRACHA NATURAL INDUZIDA COM
RAIOS GAMA: INFLUÊNCIA DO GRAU DE RETICULAÇÃO NAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS DA BORRACHA.

AUREA DE SOUZA & SELMA MATHEUS LOUREIRO GUEDES
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN
Travessa R, 400 - Cidade Universitária
CEP: 05508-900 - São Paulo/SP

R E S U M O

O látex de borracha natural foi vulcanizado com raios gama na ausência e na presença de radiosensibilizador. O efeito do grau de reticulação, G_r , estimado através da fração de volume, foi estudado em função da resistência à tração na ruptura (RT) e da deformação permanente (DP). Baixo G_r é suficiente para prender 80 % das moléculas, umas às outras, diminuindo acentuadamente a DP. G_r maior é necessário para aumentar a RT. G_r elevado inibe a mobilidade molecular ocasionando decréscimo da RT.

INTRODUÇÃO

Para a obtenção de artefatos de borracha com boas propriedades mecânicas é necessário transformar as propriedades plásticas da borracha em elásticas. O processo que promove esta transformação é o conhecido "processo térmico de vulcanização", na presença de enxofre e calor, descoberto por Charles Goodyear em 1839, que é o mais empregado mundialmente [1]. Esse processo consiste em formar uma rede tridimensional entre as moléculas poliméricas da borracha através de pontes de enxofre. Os principais artefatos produzidos a partir do látex vulcanizado na presença de enxofre, são luvas cirúrgicas, luvas para examinar, luvas domésticas, cateteres, preservativos, bexigas e balões. Esses artefatos produzidos por esse processo acarretam problemas ambientais quando são incinerados, pois liberam gases tóxicos (SO_x , NO_x) e cinzas poluentes (ZnO) e, são citotóxicos, causando sérias irritações quando permanecem em contato com as células do organismo humano [2,3].

O processo alternativo de vulcanização do látex de borracha natural induzida com raios gama (VLBNR), também promove a rede tridimensional entre as moléculas da borracha, através de radicais formados na interação da radiação ionizante com o látex [4]. Por isso esse processo alternativo apresenta vantagens porque os artefatos não causam problemas ambientais e nem toxicológicos, além de apresentarem propriedades óticas melhores e propriedades mecânicas semelhantes aos fabricados pelo processo convencional [3,5].

A dose de vulcanização (DV) é a dose de irradiação que corresponde a máxima resistência à tração na ruptura (RT). A DV para o látex é cerca de 200 kGy, o que torna o processo VLBNR inviável do ponto de vista econômico. Entretanto DV menores que 10 kGy torna viável este processo, quando a vulcanização é induzida com raios gama [6]. Compostos com alto valor de $G_{radical}$ (quantidade de radicais livres formados por 100 eV de energia absorvida), quando são adicionados ao látex diminuem a DV. Estes compostos são denominados de radiosensibilizadores (RS).

Devendra e Makuuchi [6] investigaram a eficiência do tetracloreto de carbono (CCl_4)

dos seguintes monômeros acrílicos monofuncionais: acrilato de 2-etilhexila e acrilato de n-butila (An-B). Tais monômeros reduziram significativamente a DV. Entre esses dois monômeros acrílicos estudados o An-B apresentou-se o mais vantajoso. Com apenas uma concentração de 5 phr ("per hundred rubber" - porcentagem em borracha seca), o An-B reduz a DV para 10 kGy, cerca de 95 %. Entretanto, o An-B altera a estabilidade coloidal do látex, que afeta significativamente a qualidade do artefato. A presença de 0,2 phr de hidróxido de potássio (KOH) mantém uma estabilidade coloidal satisfatória do látex na presença de até 5 phr de An-B [7].

Com o intuito de reduzir a DV ainda mais, foi estudado o efeito de peróxidos inorgânicos [8,9] e hidroperóxidos orgânicos [10], como co-RS do CCl_4 do An-B, respectivamente. Esses compostos são muito reativos e formam facilmente radicais livres, acelerando assim o processo de reticulação induzido pela radiação ionizante. Os hidroperóxidos orgânicos, especificamente o hidroperóxido de t-butila (HPT-B), utilizado como co-RS do An-B, foi o mais eficiente porque com apenas 0,1 phr reduziu a DV de 200 kGy para 8 kGy, tornando o processo VLBNR viável economicamente. Portanto o RS mais eficiente na vulcanização do látex induzida com raios gama é o 3,5 phr An-B/0,2 phr KOH/0,1 phr HPT-B.

Devido a importância que o grau de reticulação tem sobre as propriedades dos artefatos de borracha, foi investigada a sua influência na resistência à tração na ruptura (RT) e na deformação permanente (DP).

METODOLOGIA

O látex de borracha natural comercial, aniônico, concentrado a 60%, nacional, proveniente de Ituberá, Bahia, doado pela JOHNSON & JOHNSON, com alto teor de anônia e contendo 80,4% de borracha seca e 61,8% de sólidos totais, foi vulcanizado com raios gama, na ausência e na presença do seguinte RS: 3,5 phr An-B/ 0,2 phr KOH/0,1 phr HPT-B.

O KOH e o NH_4OH da MERCK, o An-B doado pela Coral S.A. e o HPT-B doado pela Penwalt foram utilizados sem qualquer purificação na formulação do látex. Todos esses reagentes são de grau analítico.

Foram preparadas 2 séries de amostras. Na série A o látex foi vulcanizado na ausência de RS. Na série B o látex foi vulcanizado na presença do RS. A formulação de cada série é descrita em seguida:

SERIE A - Ausência de RS: o látex apenas foi diluído a 50% de sólidos totais com uma solução de NH₄OH a 1%.

SERIE B - Presença de RS: as concentrações dos reagentes foram: 3,5 phr de An-B; 0,2 phr de KOH e 0,1 phr de HPT-B. Após a adição do KOH ao látex foi adicionado o HPT-B permanecendo sob agitação por 1 hora. As amostras ficaram em repouso por 16 horas. Em seguida foi acrescentado o An-B em cada amostra, que permaneceu sob agitação por 1 hora e em repouso por 16 horas. A concentração de sólidos totais também foi reduzida a 50%, com solução de NH₄OH a 1%.

A vulcanização do látex foi induzida com raios gama provenientes de uma fonte de Cobalto, tipo Panorâmica da Yoshizawa Kiko Co LTD. (TD = 1,26 kGy/h). Todas as irradiações foram realizadas à temperatura ambiente, na presença de ar. Todas as amostras de látex foram irradiadas em porta-amostra de vidro pyrex com tampa plástica rosqueável, de aproximadamente 100 mL. O intervalo de dose para a série A foi de 0-300 kGy e para a série B foi de 0-80 kGy. Após a irradiação todas as amostras permaneceram em repouso durante 24 horas. Em seguida, foram filtradas em uma peneira de aço inox de 115 Mesh e, derramadas em placas de vidro pyrex (17,0 cm x 19,0 cm x 0,3 cm).

As placas de borracha obtidas após a coacervação do látex, foram lavadas com água destilada a 80°C por 1 hora em um banho ultratermostático da Fanem Ltda, modelo 111, para retirada de substâncias solúveis e secas em estufa com circulação interna de ar a 100°C por 1 hora. Os corpos de prova obtidos foram adequados para os ensaios mecânicos e para a determinação da fração de volume.

Os ensaios de tração realizados em um dinamômetro da INSTRON, modelo 1125, segundo a norma MB-57 (outubro/1990) foram dois: RT e DP. A RT é o ensaio mecânico mais sensível quando parâmetros da vulcanização como dose, taxa de dose, concentração de RS, etc. são alterados [13]. A DP mostra a porcentagem da borracha que ainda mantém propriedades plásticas, a qual diminui com o aumento do grau de reticulação. Os corpos de prova foram cortados com uma faca apropriada da Parabor, modelo C em uma prensa hidráulica manual da Siwa. Em cada placa de borracha foram cortados uma média de 7 corpos de prova. As espessuras foram obtidas com um Micrômetro vertical da Ozaki Seissakusho Co, Ltd, modelo Peacock - Upright Dial Gauge (0,01 x 2 mm).

Para a obtenção dos resultados de FV, foram utilizados corpos de prova circulares, com diâmetro de 25 mm, que foram imersos em tolueno, de grau analítico da Merck, cuja densidade é de 0,87 g/mL. Os corpos de prova foram cortados manualmente com um vazador intercambiável em aço temperado da Krause, modelo VD 02. Em cada placa de borracha foram cortados 4 corpos de prova. A FV foi calculada para cada corpo de prova e obtida a média entre esses 4 valores.

Para a determinação da FV, o corpo de prova foi pesado em uma balança analítica

antes e após a imersão em tolueno, durante 6 horas [6,10].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na ausência de RS. Na ausência de RS, a reticulação ocorre através de ligações químicas covalentes entre os átomos de carbono poliméricos, mas a dose de irradiação é elevada. Há uma diferença entre a vulcanização da borracha seca e do látex. Na ausência de RS a vulcanização da borracha seca é menos eficiente que a do látex, porque a radiólise da água contribui para a formação de espécies altamente reativas (OH., H.), as quais aumentam a densidade de radicais poliméricos. Estes radicais poliméricos no látex possuem maior mobilidade, aumentando assim, a probabilidade de recombinação entre eles.

Quando ocorre a reticulação do látex induzida com radiação ionizante, as propriedades da borracha são alteradas. Tanto a FV como a RT aumentam enquanto que a DP diminui. A Figura 1 mostra as curvas de RT e de FV em função da dose, vulcanizado na ausência de RS.

Observa-se que a FV aumenta sempre com o aumento da dose. Isto mostra que raios gama são agentes de vulcanização e podem substituir o enxofre, que necessita de calor, porque a FV está relacionada matematicamente com a densidade de reticulação, através da equação de Flory e Rehner [11, 14]. O aumento da FV corresponde a um aumento da densidade de reticulação. No intervalo de dose de 0-300 kGy a FV aumenta em função da dose. Esse aumento não é linear, indicando que nem toda a energia absorvida é utilizada para promover a reticulação. Entre os intervalos de dose de 0-50 kGy (equação 3) e de 200-300 kGy (equação 4) pode-se observar uma relação linear entre FV e a dose (D) que é expressa da seguinte forma:

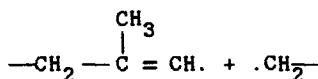
$$FV_{(0-50)} = 0,08 D + 5 \quad (1)$$

$$FV_{(200-300)} = 0,008 D + 13,4 \quad (2)$$

A relação entre os coeficientes angulares dessas retas, mostra que em doses até 50 kGy o aumento da FV por unidade de dose, é dez vezes maior que no intervalo de 200 a 300 kGy.

Em doses elevadas, a maior parte desta energia não é utilizada na promoção da reticulação. O G de reticulação, G_r, é constante nos intervalos de dose 0-50 kGy e 200-300 kGy e, G_{r(0-50 kGy)} > G_{r(200-300 kGy)}. Portanto à medida que se eleva a dose, a quantidade de radicais formados é maior, mas ocorrem reações que não favorecem a reticulação.

PUIG [15] sugeriu mecanismos de formação de radicais, que ocorrem pela interação direta ou indireta da radiação, além de propor possíveis estruturas reticuladas. Uma primeira possibilidade de formação do radical polimérico na interação direta da radiação é através da cisão da ligação C-H do grupo metilênico. Uma outra possibilidade é a ocorrência da cisão da cadeia principal formando o seguinte radical:



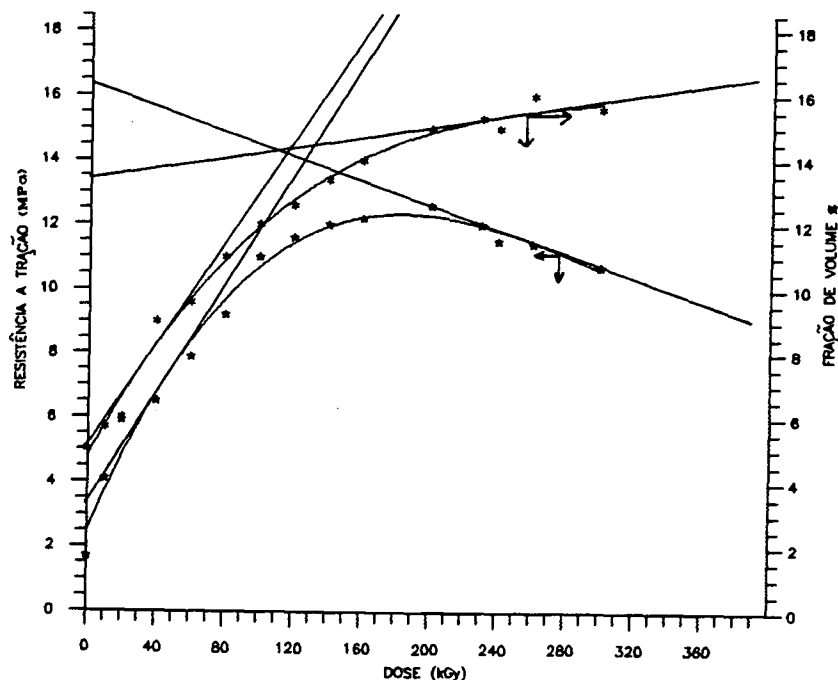


Figura 1 - Efeito da dose na RT e na FV.

Os radicais poliméricos podem ser formados indiretamente através de reações químicas que envolvem radicais altamente energéticos, como o H[•], e a molécula polimérica da borracha. Esses H[•] são formados na radiólise da H₂O, das proteínas, dos lipídios e do 1,4 cis-poliisopreno. Basicamente 2 tipos de reações químicas ocorrem: a adição do H[•] na dupla ligação do 1,4 cis-poliisopreno e a abstração de um átomo de H da cadeia polimérica pelo H[•] com elevada energia cinética.

As possíveis recombinações entre os radicais poliméricos para a formação da estrutura reticulada, sugerida por PUIG [15], envolvem reações entre eles (reação 5 e 6) e o ataque às moléculas poliméricas (reação 7). Em doses elevadas a quantidade de radicais formados é tal que a probabilidade do H[•] reagir com os radicais poliméricos é maior, diminuindo a ocorrência das reações de reticulação 5, 6 e 7.

As medidas de RT estão relacionadas com a densidade de reticulação como também com a coesão entre as partículas. A Figura 1 mostra que a RT aumenta em função da dose até atingir um máximo de 12,3 MPa com 180 kGy, que é a DV e, em seguida decresce. Entre os intervalos de dose de 0-50 kGy (equação 8) e 200-300 kGy (equação 9) pode-se observar uma relação linear entre a RT e a D:

$$RT_{(0-50)} = 0,085 D + 3,2 \quad (3)$$

$$RT_{(200-300)} = -0,020 D + 18,3 \quad (4)$$

Doses até 50 kGy é possível observar que o aumento da FV e da RT em função do aumento da dose é o mesmo, mostrando que toda a reticulação contribui no aumento da RT. Este fato pode ser estendido até cerca de 100 kGy.

Entretanto a partir desta dose, o grau de reticulação atingido começa a interferir na coesão inter-partículas, de tal forma que a partir de 180 kGy a RT começa a decrescer e a FV ou a densidade de reticulação continua aumentando. No intervalo de dose de 180 kGy a 300 kGy, as moléculas poliméricas estão excessivamente reticuladas. Isto impede o rearranjo molecular cristalino, durante o ensaio, como também diminui a mobilidade molecular, dificultando assim a interação física inter-partículas, que é determinante na coesão das partículas [16].

A DP é um ensaio mecânico, usado para elastômeros, que permite avaliar o deslocamento relativo das moléculas poliméricas. Quanto maior a DP mais plástico é o material, pois ocorreu um maior deslocamento relativo entre as moléculas.

A Figura 2 mostra a DP da borracha obtida do látex irradiado na ausência do RS em função da dose. Nota-se que a DP diminui acentuadamente com o aumento da dose, de 80 % para 13,5 % com 40 kGy. Com apenas uma dose de 40 kGy, apenas cerca de 13 % das moléculas se deslocaram irreversivelmente. A partir de 40 kGy a DP continua decrescendo, porém lentamente, com o aumento da dose. No intervalo de 40-300 kGy a DP decresceu de 13,5 % para 2,7 %. Da mesma forma, na Figura 2, pode-se observar duas regiões onde a relação entre DP e D é linear. No intervalo de 0-20 kGy e de 100-300 kGy os respectivos coeficientes angulares das retas são 2,4 e 0,028. Portanto a redução da % da DP por unidade de dose é 86 vezes maior para doses até 20 kGy do que entre 100-300 kGy.

Com apenas uma dose de 20 kGy, na ausência de RS, foi atingido um grau de reticulação pequeno, porém suficiente para "prender" as moléculas umas com as outras, de tal forma que quando são submetidas a um esticamento até a ruptura apenas 22 % se deslocam entre si de forma irreversível. Como é esperado, a reticulação induzida com

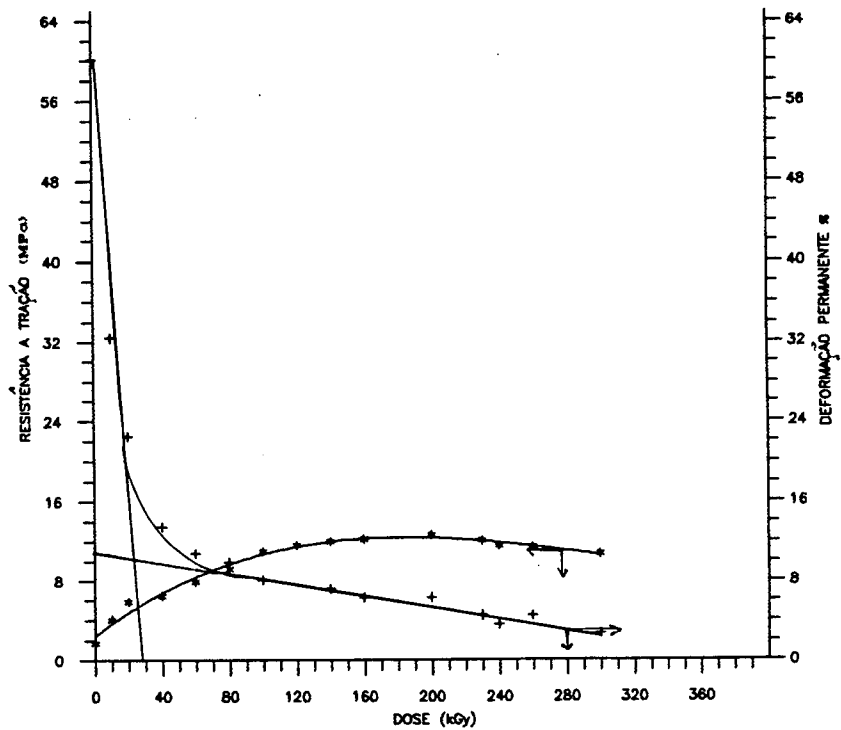
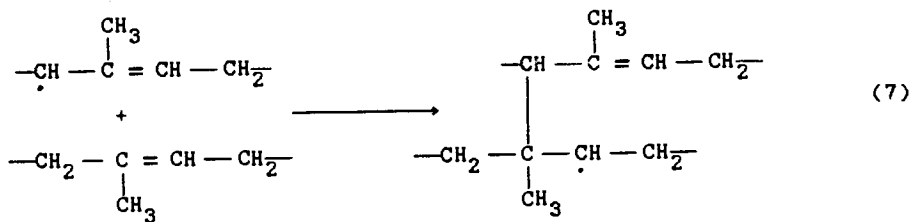
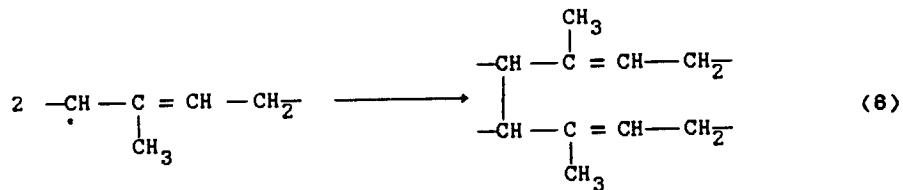
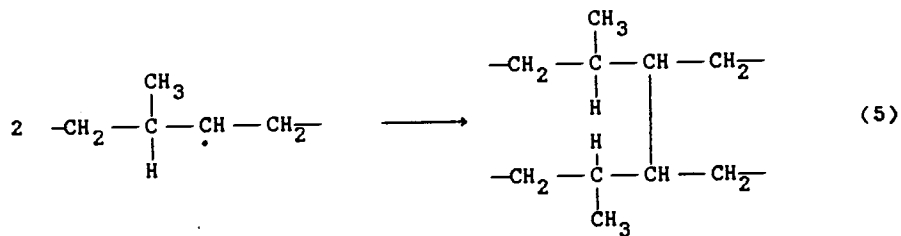


Figura 2 - Efeito da dose na RT e na DP.



radiação ionizante, ocorre de forma homogênea no látex e em cada partícula, porque este pequeno grau de reticulação é suficiente para "prender" cerca de 80 % das moléculas poliméricas, o que reduz a plasticidade a 20 %. Entretanto é suficiente para proporcionar uma RT de apenas 5,0 MPa. O aumento do grau de reticulação no intervalo de 20-100 kGy, favorece diretamente o aumento da RT e muito pouco contribui para a redução da DP. Apenas uma pequena % das reticulações que ocorrem contribui para "prender" novas partes das moléculas poliméricas ou mesmo novas moléculas poliméricas. A maioria das reticulações torna a borracha mais resistente à ruptura.

A partir de 100 kGy, o grau de reticulação começa a impedir a mobilidade de algumas moléculas diminuindo a coesão inter-partículas, a tal ponto que em 180 kGy a RT atinge um máximo e começa a decrescer. De 180-300 kGy, embora a RT decresça, predomina a reação de reticulação sobre a degradação, porque a FV continua a aumentar e a DP continua a decrescer com o aumento da dose. Portanto os ensaios mostram claramente que a partir da DV a RT decresce, não porque predomina a cisão da cadeia principal, como é esperado em altas doses, mas porque o excesso de reticulação impede o entrelaçamento de moléculas inter-partículas afetando a coesão entre as partículas.

Na presença de RS. A Figura 3 mostra o efeito da dose na RT, na FV e na DP do látex irradiado na presença do RS. A RT aumenta acentuadamente com a dose de irradiação, atinge um valor máximo de 15,6 MPa e decresce acentuadamente a partir de 8 kGy (Figura 3a). Entre 0-8 kGy a RT é função linear da dose, cujo coeficiente angular da reta correspondente é 1,81.

A Figura 3b mostra o efeito da dose na FV do látex irradiado na presença do RS. A FV aumenta com a dose. É visto que no intervalo de 0-8 kGy a FV aumenta acentuadamente de 4 % para 15 %. Após 8 kGy a FV continua aumentando, porém não tão acentuado. Isto mostra que no intervalo de dose entre 0-8 kGy, o processo de reticulação ocorre devido a atuação do An-B e do HPt-B, que são consumidos totalmente na reticulação. A partir de 8 kGy o processo de reticulação é similar ao do látex irradiado na ausência do RS. As reticulações que ocorrem após a DV são as diretas, onde nem o An-B e nem o HPt-B participam.

A Figura 3c mostra o efeito da dose na DP do látex irradiado com RS. A DP diminui com o aumento da dose. No intervalo de dose entre 0-8 kGy a DP foi reduzida em 85 %. Isto

mostra, que com apenas 8 kGy e na presença deste RS a estrutura já está suficientemente reticulada, onde apenas 8 % das moléculas poliméricas se deslocaram irreversivelmente durante os ensaios de tração.

O HPt-B age como co-RS do An-B. É interessante discutir o comportamento do HPt-B na vulcanização do látex induzida com raios gama. A literatura informa que a presença de HPt-B oxida a cadeia polimérica formando grupos funcionais C=O e / ou C—O—C na molécula polimérica [17]. Estes grupos funcionais formam pontes de hidrogênio com a proteína [18, 19], aumentando a densidade de reticulação.

CONCLUSÕES

A vulcanização do látex de borracha natural, induzida com raios gama, ocorre tanto na ausência como na presença de RS. Entretanto, na ausência do RS a dose de irradiação necessária para promover um grau de reticulação ótimo no látex, é da ordem de 180 kGy. Esta dose, denominada DV, é muito elevada, impossibilitando a aplicação industrial desse processo alternativo de vulcanização. Na presença de 3,5 phr de An-B / 0,2 phr de KOH / 0,1 phr de HPt-B, a DV reduz para 8 kGy, tornando esse processo comercial. Esse RS reduz a DV em 96 %.

Baixos graus de reticulação são suficientes para prender 80 % das moléculas, umas às outras, diminuindo acentuadamente a DP. Graus de reticulação maiores são necessários para aumentar a RT. Graus de reticulação elevados inibem a mobilidade molecular ocasionando decréscimo da RT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL. MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. SUPERINTENDÊNCIA DA BORRACHA. Curso Básico em Tecnologia de Elastômeros. s.l., s.d. v.1, p.9.
- [2] CALVI, L. C. Princípios Básicos sobre a Tecnologia. Associação Brasileira de Tecnologia da Borracha, (ABTB). Boletim Técnico número 41, 1990, p. 3-10
- [3] BRASIL. MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. SUPERINTENDÊNCIA DA BORRACHA. Curso Básico em Tecnologia de Elastômeros. s.l., s.d. v.5, p. 40.
- [4] NAKAMURA, A.; IKARASHI, Y.; TSUCHIYA, T.; KANIWA, M.; Radiation Vulcanized Natural Rubber Latex is Not Cytotoxic. In: Proceedings

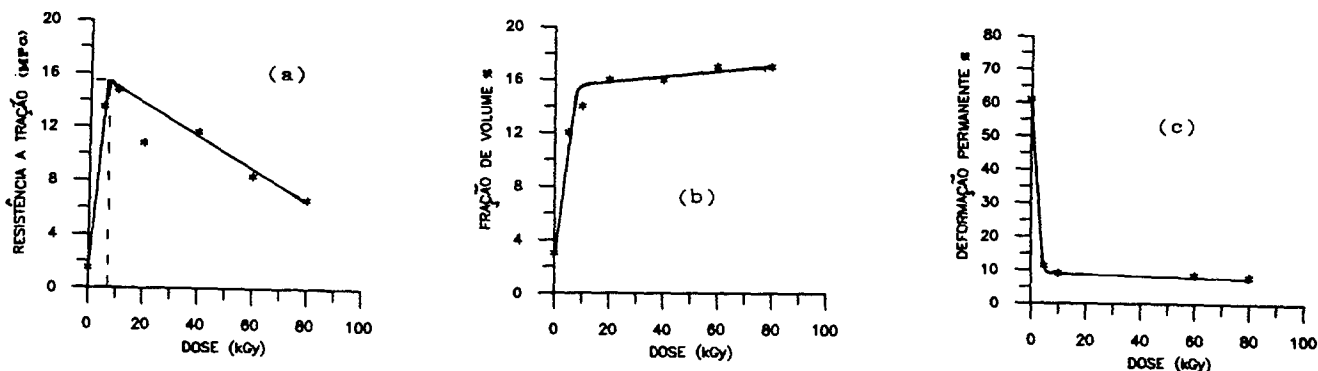


Figura 3 - Efeito da dose na RT (a), na FV (b) e na DP (c) do látex vulcanizado com RS.

of the International Symposium on Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex (Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989). p. 79-87.

[5] MAKUUCHI, K. Progress in Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex through International Cooperation. In: Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex (Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989). p. 91-9.

[6] UPATHUM, C.; MAKUUCHI, K.; ISHIGAKI, I. Radiation Vulcanization Mechanism of Liquid Isoprene with 2-Ethylhexyl Acrylate. In: Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex (Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989). p. 336-49.

[7] TSHUSHIMA, K.; MAKUUCHI, K.; YOSHII, F.; ISHIGAKI, I. Commercialization of Protective Rubber Gloves by Radiation Vulcanization. In: Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex (Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989). p. 127-31.

[8] DEVENDRA, R. & MAKUUCHI, K. Combination Effect of Carbon Tetrachloride with 2-Ethylhexyl Acrylate as a Sensitizer for Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex. In: Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex (Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989). p. 290-304.

[9] ZHONGHAI, C. & MAKUUCHI, K. n-Butyl Acrylate as a Sensitizer for Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex. In: Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex (Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989). p. 326-35.

[10] GUEDES, S. M. L. & CONTIM, A. M. Processo Alternativo de Vulcanização do Latex de Borracha Natural Induzido por Radiação Ionizante. In: Anais do 4^o Congresso Brasileiro de Tecnologia da Borracha. (São Paulo, SP, Brasil, 17-19 de setembro de 1991). São Paulo, Associação Brasileira de Polímeros, 1991, Vol.1 p. 73-89.

[11] SABARINAH, Y. & SUNDARDI, F. Effect of Hydrogen Peroxide on the Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex Sensitized with Carbon Tetrachloride and n-Butyl Acrylate. In: Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex (Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989). p. 319-25.

[12] AROONVISOOT, P. & MAKUUCHI, K. Selection of Hydroperoxide as Co-Sensitizer for n-Butyl Acrylate. In: Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex (Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989). p. 305-18.

[13] WAHAB, S.; MAKUUCHI, K.; DEVENDRA, R. Effect of Heating and Leaching on Mechanical Properties of Radiation Vulcanized Natural Rubber Latex Film. In: Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex (Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989). p. 216-24.

[14] SUMBOGO, D. E.; SUNDARDI, F.; UTAMA, M. Effect of Antioxidant on the Aging Property of Rubber Film Prepared from Radiation Vulcanized Natural Rubber Latex. In: Proceedings of the

International Symposium on Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex (Tokyo and Takasaki, July, 26-28, 1989). p. 234-44.

[15] PUIG, J. Radiation Curing of Natural Rubber Latex. Atomic Energy Review, 9(2):381-83, 1971.

[16] GUY, A.G. Ciência dos Materiais. EDUSP. São Paulo, 1980. p. 264-65.

[17] MAKUUCHI, K. TAKASAKI RADIATION CHEMISTRY RESEARCH ESTABLISHMENT. Progress in radiation vulcanization of natural rubber latex. (Apostila Técnica).

[18] SHIIBASHI, T. J. Soc. Rubber Ind. Japan, 60:298, 1987. apud MAKUUCHI, K. TAKASAKI RADIATION CHEMISTRY RESEARCH ESTABLISHMENT. Progress in radiation vulcanization of natural rubber latex. (Apostila Técnica).

[19] LU F.J. & HSU, S. L. Rubber Chem. Technol. 60:647, 1987. apud MAKUUCHI, K. TAKASAKI RADIATION CHEMISTRY RESEARCH ESTABLISHMENT. Progress in radiation vulcanization of natural rubber latex. (Apostila Técnica).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Tintas Coral S.A. e a Pennwalt S.A. pela doação dos respectivos reagentes: An-B e HPt-B; a Johnson & Johnson pela doação de látex e ao CNPq pela concessão de bolsa.

ABSTRACT

Natural rubber latex was vulcanized with gamma rays in the absence and in the presence of sensitizer. The effect of the crosslinking degree, C, estimated through the volume fraction, was studied in function of the tensile strength (TS) and the permanent set (PS). A low C is sufficient to bind 80 % of the molecules, each others, decreasing the PS remarkably. A high C is necessary to increase the TS. An elevated C inhibits the molecular mobility causing the decrease of the TS.