

Robin Yoshifumi Chigami

**Análise Mecânica do Látex Proveniente de Luvas Cirúrgicas  
Recicladas Antes e Após a Irradiação de Elétrons**

**São Paulo  
2012**

Robin Yoshifumi Chigami

# **Análise Mecânica do Látex Proveniente de Luvas Cirúrgicas Recicladas Antes e Após a Irradiação de Elétrons**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo.

Departamento de Engenharia Metalúrgica e  
de Materiais

Orientador: Prof. Dr. Hélio Wiebeck

**São Paulo  
2012**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Chigami, Robin Yoshifumi**

**Análise mecânica do látex proveniente de luvas cirúrgicas recicladas antes e após a irradiação de elétrons / R.Y. Chigami. - São Paulo, 2012.**

**48 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.**

**1. Análise mecânica 2. Látex 3. Luvas cirúrgicas 4. Argilas I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais II. t.**

*"O fracasso é a oportunidade de se começar de novo, com inteligência."*

*(Henry Ford)*

## **Agradecimentos**

Agradeço os professores Hélio Wiebeck e Fábio Éper pela oportunidade oferecida para realização deste trabalho de conclusão de curso, pela orientação teórica nos momentos de dúvida e pela ajuda no manuseio das máquinas.

Agradeço ao Djalma Dias e Leonardo Gondim pelo tempo e auxílio na realização dos experimentos no IPEN.

Agradeço minha namorada Marina pela paciência, compreensão e apoio durante este período importante da minha vida acadêmica.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado.

E por fim ao meu amigo Pedro, pela amizade de anos e pela companhia durante a realização deste trabalho.

## Resumo

O mundo atual vem enfrentando por anos problemas ambientais originados pelo crescente aumento da produção, iniciado em meados do século XVIII, e por consequência do lixo proveniente deste processo. Muito é feito para que o descarte do mesmo seja adequado, porém a falta de conscientização e incentivo, aliados à pobreza, falta de saneamento, entre outros problemas sociais, agravam a situação a cada ano que passa.

Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas do látex proveniente de luvas cirúrgicas descartáveis. Foram adicionados diversas cargas (argila natural, pó de pneu, cinza de casca de arroz e argila modificada) a fim de estudar o efeito das mesmas nas propriedades mecânicas finais do material reciclado. Análises como ensaio de tração, espectroscopia no infravermelho e ensaio de dureza Shore foram realizados em amostras antes e após a irradiação de feixe de elétrons.

**Palavras-chave:** Borracha natural, cinza da casca de arroz, pó de pneu, luvas cirúrgicas, argila.

## **Abstract**

The current world has been facing environmental problems arising from increased production, which began in mid-eighteenth century, and consequently the waste from this process. A great effort has been made for the appropriate waste disposal, coupled with poverty, lack of sanitation and other social problems, deteriorating the situation with each passing year.

Within this context, this study aims to evaluate the mechanical properties of latex from disposable surgical gloves. Fillers as natural clay, solid rubber tire powder, rice ash husk and modified clay were added in order to study their effects on the final properties of the recycled material. Stress-strain curves were obtained as well as infrared spectroscopy and hardness in Shore scale of the samples before and after electron beam irradiation.

Within this context, this study aims to evaluate the mechanical properties of latex from disposable surgical gloves. Fillers as natural clay, solid rubber tire powder, rice ash husk and modified clay were added in order to study their effects on the final properties of the recycled material.

**Keywords: Natural rubber, rice rusk ash, solid rubber tire powder, surgical gloves, clay.**

## Lista de Figuras

Figura 1 - Estrutura básica do látex.....	1
Figura 2 - Técnica de sangria usada para extrair o látex da seringueira.....	2
Figura 3 - Esquema ilustrativo de cadeias de polímeros antes e após o processo de vulcanização .....	4
Figura 4 - Descarte inadequado de pneus (encontrados até no fundo do mar) .	5
Figura 5 - (A) Microcompósito (B) Intercalação (C) Esfoliação/delaminação .....	8
Figura 6 - Calandra da marca Mecanoplast .....	10
Figura 7 - Prensa hidráulica da marca Marconi.....	10
Figura 8 - Balança de precisão da marca Tecnal.....	11
Figura 9 – Máquina de ensaio de tração da marca Instron, modelo 5667.....	12
Figura 10 - Espectro eletromagnético [13] .....	13
Figura 11 - Modos de vibração da molécula CO <sub>2</sub> .....	14
Figura 12 - Modos vibracionais do grupo funcional -CH <sub>2</sub> .....	14
Figura 13 - Borracha natural utilizada na confecção das mantas.....	15
Figura 14 - Molde usado para corte dos corpos de prova a partir das mantas	16
Figura 15 - Amostras de MBTS e TMTD .....	16
Figura 16 - Amostras de enxofre e ácido esteárico.....	17
Figura 17 - Massa sendo homogeneizada na calandra.....	17
Figura 18 - Forma usada em conjunto com a prensa hidráulica .....	18
Figura 19 - Controlador de temperatura da prensa hidráulica.....	18
Figura 20 - Luvas cirúrgicas picotadas.....	19
Figura 21 - Cargas pesadas e separadas .....	20
Figura 22 - Luvas picotadas após passagem pela calandra .....	21
Figura 23 - Homogeneização da massa composta por luvas picotadas .....	21
Figura 24 - Adição das cargas após a homogeneização da massa .....	22
Figura 25 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 não irradiado de BN.....	23
Figura 26 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 não irradiado de BN.....	24
Figura 27 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 irradiado de BN.....	25
Figura 28 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 irradiado de BN.....	25
Figura 29 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 irradiado de BN.....	25
Figura 30 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 não irradiado de LC + BN .....	27

Figura 31 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 não irradiado de LC + BN .....	27
Figura 32 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 não irradiado de LC + BN .....	27
Figura 33 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 irradiado de LC + BN ...	29
Figura 34 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 irradiado de LC + BN ...	29
Figura 35 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 irradiado de LC + BN ...	29
Figura 36 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 não irradiado de LC + BN + AN + PP .....	30
Figura 37 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 não irradiado de LC + BN + AN + PP .....	31
Figura 38 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 não irradiado de LC + BN + AN + PP .....	31
Figura 39 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 irradiado de LC + BN + AN + PP .....	32
Figura 40 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 irradiado de LC + BN + AN + PP .....	32
Figura 41 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 irradiado de LC + BN + AN + PP .....	33
Figura 42 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 não irradiado de LC + BN + AN + CCA.....	34
Figura 43 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 não irradiado de LC + BN + AN + CCA.....	34
Figura 44 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 não irradiado de LC + BN + AN + CCA.....	34
Figura 45 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 irradiado de LC + BN + AN + CCA.....	35
Figura 46 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 irradiado de LC + BN + AN + CCA.....	36
Figura 47 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 irradiado de LC + BN + AN + CCA.....	36
Figura 48 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 não irradiado de LC + BN + AN + AM.....	37

Figura 49 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 não irradiado de LC + BN + AN + AM.....	37
Figura 50 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 não irradiado de LC + BN + AN + AM.....	38
Figura 51 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 irradiado de LC + BN + AN + AM.....	39
Figura 52 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 irradiado de LC + BN + AN + AM.....	39
Figura 53 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 irradiado de LC + BN + AN + AM.....	39
Figura 54 - Espectro no infravermelho da amostra feita a partir de BN.....	41
Figura 55 - Espectro no infravermelho da amostra feita a partir de LC + BN...	42
Figura 56 - Espectro no infravermelho da amostra feita a partir de LC + BN + AN + PP .....	42
Figura 57 - Espectro no infravermelho da amostra feita a partir de LC + BN + AN + CCA.....	43
Figura 58 - Espectro no infravermelho da amostra feita a partir de LC + BN + AN + AM.....	44

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Propriedades da montmorillonita.....	7
Tabela 2 - Composição das misturas usadas na confecção das mantas.....	19
Tabela 3 - Aditivos pesados e separados .....	20
Tabela 4 - Resultados do ensaio de tração para os CP não irradiados de borracha natural .....	22
Tabela 5 - Resultados do ensaio de tração dos CP irradiados de BN.....	24
Tabela 6 - Resultados do ensaio de tração dos CP não irradiados de LC + BN .....	26
Tabela 7 - Resultados do ensaio de tração dos CP irradiados de LC + BN.....	28
Tabela 8 - Resultados do ensaio de tração dos CP não irradiados de LC + BN + AN + PP .....	30
Tabela 9 - Resultados do ensaio de tração dos CP irradiados de LC + BN + AN + PP .....	31
Tabela 10 - Resultados do ensaio de tração dos CP não irradiados de LC + BN + AN + CCA.....	33
Tabela 11 - Resultados do ensaio de tração dos CP irradiados de LC + BN + AN + CCA.....	35
Tabela 12 - Resultados do ensaio de tração dos CP não irradiados de LC + BN + AN + AM.....	36
Tabela 13 - Resultados do ensaio de tração dos CP irradiados de LC + BN + AN + AM.....	38
Tabela 14 - Resumo dos dados obtidos através do ensaio de tração dos CP não irradiados.....	40
Tabela 15 - Resumo dos dados obtidos através do ensaio de tração dos CP irradiados .....	40
Tabela 16 - Valores médios de dureza das amostras não irradiadas.....	45
Tabela 17 - Valores médios de dureza obtidos das amostras irradiadas.....	45

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

PHR – *parts Per Hundred parts of Rubber* (partes por 100 de borracha)

BN – Borracha natural

LC – Luvas cirúrgicas

AN – Argila natural

AM – Argila modificada

CCA – Cinza da casca de arroz

PP – Pó de pneu

MBTS – Dissulfeto de mercaptobenzotiazol

TMTD – Dissulfeto de tetrametiltiuram

S – Enxofre

CP – Corpos de prova

C – Carbono

H – Hidrogênio

## Sumário

1	Introdução .....	1
2	Revisão Bibliográfica .....	1
2.1	Borracha natural.....	1
2.2	Borracha sintética .....	2
2.3	Vulcanização.....	3
2.4	Cargas .....	4
2.4.1	Pó de pneu .....	4
2.4.2	Cinza de casca de arroz .....	6
2.4.3	Argila natural.....	7
2.4.4	Argila modificada .....	8
2.4.5	Radiação por Feixe de Elétrons.....	9
3	Equipamentos e Métodos .....	9
3.1	Ensaio Mecânico de Tração.....	11
3.2	Espectroscopia no Infravermelho.....	12
3.3	Ensaio de Dureza Shore .....	14
4	Parte Experimental.....	15
5	Resultados e Conclusões.....	22
5.1	Ensaio de Tração .....	22
5.1.1	CP(Borracha natural).....	22
5.1.2	CP(LC + BN) Irradiados e Não Irradiados .....	26
5.1.3	CP(LC + BN + AN + PP) Irradiados e Não Irradiados.....	30
5.1.4	CP(LC + BN + AN + CCA) Irradiados e Não Irradiados.....	33
5.1.5	CP(LC + BN + AN + AM) Irradiados e Não Irradiados .....	36
5.1.6	Discussões .....	40
5.2	Espectroscopia no Infravermelho.....	41
5.2.1	CP(BN) .....	41

5.2.2 CP(LC + BN).....	41
5.2.3 CP(LC + BN + AN + PP).....	42
5.2.4 CP(LC + BN + AN + CCA).....	43
5.2.5 CP(LC + BN + AN + AM).....	43
5.2.6 Discussão.....	44
5.3 Ensaio de Dureza Shore.....	44
6 Conclusões.....	46
7 Referências bibliográficas.....	47

## 1 Introdução

O ciclo da borracha foi um marco importante na economia do Brasil. Viveu seu auge entre os anos de 1879 e 1912, sendo que seu centro estava localizado na região amazônica. A colonização dessa região se deve muito a esse período, quando atraiu riquezas e promoveu grandes mudanças sociais e culturais. Desde então, com o avanço da tecnologia e aumento do consumo de produtos feitos e/ou que utilizam o látex, a borracha natural passou a ter papel importante no nosso dia a dia. É largamente utilizado na confecção de pneumáticos, preservativos, borracha escolar e luvas cirúrgicas, entre outros. O presente trabalho focou no reaproveitamento do látex advindo das luvas cirúrgicas recicladas.

Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [1], a produção mundial em 2011 aumentou cerca de 7% a 8%, atingindo a marca de 10,5 milhões de toneladas. Isso foi provocada pela queda do consumo ao redor do globo, atingindo o nível de 9 milhões de toneladas. Estima-se plantio de aproximadamente 1 milhão de hectares, caracterizando um aumento na oferta de 30% e 50% em 2015 e 2020, respectivamente. Acredita-se que o aumento de consumo no Brasil será maior que o resto do mundo, porém o mesmo não é o esperado quando olha-se a produção, ou seja, o ritmo de produção brasileiro não acompanhará o mundial.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Borracha natural

Borracha natural é o elastômero natural proveniente do látex e apresenta uma configuração regular de cis-poliisopropênica (figura 1).

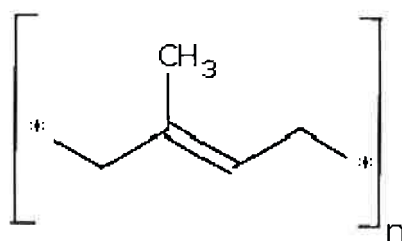


Figura 1 - Estrutura básica do látex

O látex é uma substância de aspecto leitoso extraída da seringueira (*Hevea brasiliensis*). Esta árvore é nativa da Amazônia e a extração do látex se dá a partir de cortes na casca da árvore ou então da remoção de camadas finas (sangria), conforme ilustrado na figura 2. A seiva que escorre dos cortes é coletada e armazenada após adição de amônia como estabilizador a fim de evitar a coagulação precoce do látex. As incisões feitas nas árvores continuam a expelir seiva mas a quantidade diminui com o tempo, até que o processo cessa com a formação de uma camada de látex coagulado sobre os cortes.



Figura 2 - Técnica de sangria usada para extrair o látex da seringueira

O látex é uma dispersão aquosa coloidal estável de polímeros que possui alta fluidez mesmo para altas concentrações dos polímeros constituintes [2]. Ao ser aquecida as partículas se aproximam, originando partículas maiores. Sofre coagulação ao ter adicionado ácido acético em sua composição. A massa resultante deste processo é denominada borracha bruta.

## 2.2 Borracha sintética

A borracha sintética é derivada do petróleo. É feita a partir da polimerização de diferentes monômeros e em proporções diversas a fim de se atingir as propriedades desejadas.

A borracha natural, por apresentar moléculas maiores e mais pesadas em relação à borracha sintética, possui uma estrutura mais estável. Logo, tem um desgaste menor com o atrito e deforma mais antes de se romper. Estas

características fazem com que a borracha natural seja usada na confecção de pneumáticos, preservativos e luvas cirúrgicas (material foco deste trabalho).

Em contrapartida, a borracha sintética é mais recomendada na fabricação de mangueiras automotivas e industriais. O fato de apresentar moléculas menores torna a borracha sintética mais resistente à solventes fortes e menos permeável a passagem de gases.

### 2.3 Vulcanização

O método conhecido como vulcanização foi criado no ano de 1839 pelo inventor Charles Goodyear. Consiste basicamente na aplicação de calor e pressão na presença de enxofre, aceleradores e ativadores para que ocorram ligações cruzadas entre as moléculas.

O enxofre é responsável pelas ligações químicas cruzadas. Existem regiões na molécula de borracha atraentes ao enxofre chamados de locais de cura. Nestes locais, átomos de enxofre tendem a unir-se à molécula de borracha, formando uma corrente que cresce até que sua ponta livre encontre outro local de cura, unindo assim duas moléculas. As moléculas anteriormente livres e flexíveis tornam-se ligadas entre si (figura 3), tornando o material mais duro, resistente à ataques químicos e com a superfície não mais pegajosa.

As ligações cruzadas podem ser classificadas como monossulfídricas, dissulfídricas e polissulfídricas. A primeira é caracterizada pela formação da ponte química entre moléculas de isopreno através de um único átomo de enxofre. Já a dissulfídrica é caracterizada pela ponte química entre duas cadeias de carbono através de dois átomos de enxofre. E por fim as polissulfídricas são caracterizadas pela presença de três ou mais átomos de enxofre na ligação entre as moléculas do polímero.

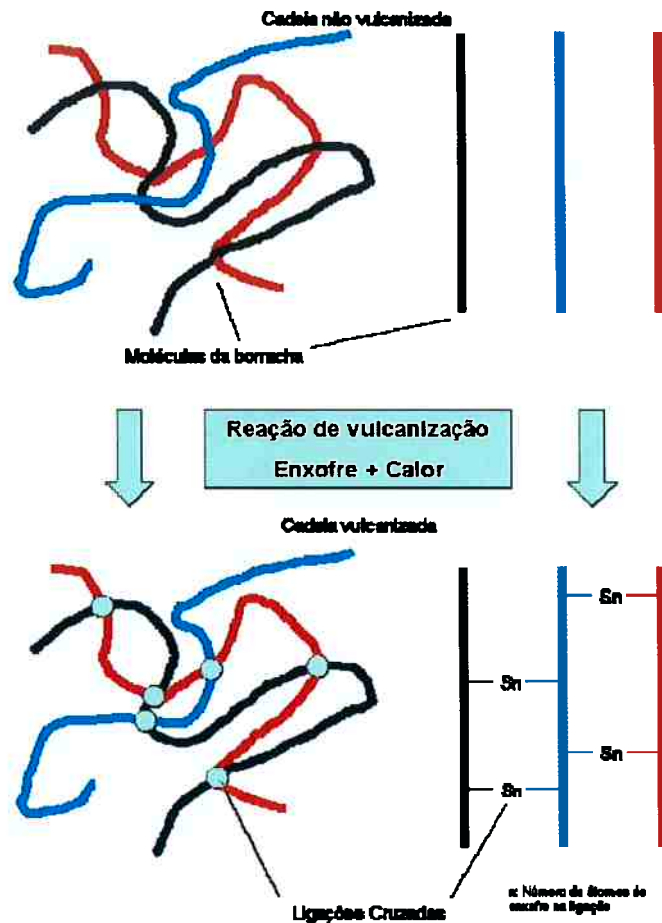


Figura 3 - Esquema ilustrativo de cadeias de polímeros antes e após o processo de vulcanização

As reações de cura que ocorrem no processo de vulcanização são irreversíveis e como não derretem com o calor, não são classificados como termoplásticos.

O processo de cura é caracterizado pelo agente de cura (enxofre, peróxidos, óxidos metálicos, entre outros), aceleradores ou retardadores e ativadores, utilizados em quantidades que resultem nas propriedades finais pretendidas.

## 2.4 Cargas

### 2.4.1 Pó de pneu

Pneumáticos, ou mais conhecidos como pneus, são amplamente fabricados ao passo que as vendas de veículos cresce a cada ano. A produção em massa e a redução do custo de fabricação foi possível após a descoberta acidental do processo de vulcanização por Charles Goodyear em meados de

1830. Desde então, o processo de fabricação do pneu passou por diversas mudanças graças às novas tecnologias mas a base de fabricação ainda é a mesma. Carros de passeio possuem pneus projetados para suportar altas velocidades, logo, a borracha predomina, com 27% do tipo sintética e 14% natural. O negro de fumo participa com 28% na composição, os derivados de petróleo e os produtos químicos com 17% e o aço com o restante. Já os dos caminhões, por terem que suportar elevadas cargas, apresentam aproximadamente 30% de borracha natural em sua composição [4].

Junto com o avanço da tecnologia, na redução do custo de produção em larga escala, vem o descarte. Segundo dados levantados por entidades internacionais, cerca de 2 milhões de pneus são fabricados em apenas um dia no mundo inteiro, e aproximadamente 800 milhões de pneus velhos são descartados nesse mesmo período. Desses, 20 milhões são descartes que ocorrem em território nacional. Sabendo que um pneu demora em torno de 600 anos para se decompor, a necessidade de um descarte adequado e da reciclagem e/ou reaproveitamento deste material é de suma importância ambiental (figura 4).



Figura 4 - Descarte Inadequado de pneus (encontrados até no fundo do mar)

A borracha, após passar por processos de cura ou de cozimento, não pode ser derretida devido à desnaturação das fibras poliméricas. Sendo assim, o processo de reaproveitamento do pneu dá-se separando a borracha vulcanizada do resto e triturando-a posteriormente. O processamento dos pneus pode ser dividido em três etapas:

- Trituração: os pneus são inseridos em um triturador a fim de produzir pedaços reduzidos do mesmo;
- Remoagem: os produtos da etapa anterior são transformados em grãos;
- Separação: extração do aço através de ímãs e os outros resíduos com o auxílio de filtros.

Por fim, os grãos de borracha são refinados para obtenção do pó de borracha de pneu. A granulometria final é variável e depende das especificações do cliente.

#### **2.4.2 Cinza de casca de arroz**

A cinza de casca de arroz (CCA) é um resíduo proveniente da indústria agrícola que apresenta teores consideráveis de sílica na sua composição. Dado o alto poder calorífico, a casca de arroz possui um alto poder calorífico (aproximadamente 3000 kJ/kg), a mesma passou a ser muito utilizada como fonte de energia nas próprias indústrias de beneficiamento dos grãos de arroz [5].

Existem dois tipos bem conhecidos deste resíduo: a cinza de casca de arroz branca (cerca de 96% de  $\text{SiO}_2$ ) e a cinza de casca de arroz preta (aproximadamente 54% de sílica e 44% de carbono residual). Devido ao alto teor de sílica na sua composição, este resíduo apresenta grande potencial como carga. Na indústria civil, por exemplo, a CCA pode ser utilizada como carga na fabricação de cimentos Portland compostos, melhorando a resistência à compressão do produto final [5].

Segundo James e Rao [6] [7] [8], a cinza de casca de arroz, por conter teores relevantes de sílica, é uma importante fonte renovável de  $\text{SiO}_2$ . Este resíduo é obtido através da combustão da casca, que é composta por celulose (50%), lignina (30%) e resíduos inorgânicos (20%). Pode apresentar coloração preta (devido ao carbono residual), cinza ou até mesmo branca dependendo das impurezas presentes na sua composição após a queima [9]. Uma das desvantagens de sua utilização, no quesito estética, é a coloração do produto final devido ao carbono residual ou às impurezas.

### 2.4.3 Argila natural

Argila é o nome dado a um material sedimentar formado por detritos provenientes da erosão e intempéries, os minerais argilosos. Possui granulação fina (da ordem de 4 micrometros) e são filossilicatos, ou seja, compostos por silicatos hidratados de alumínio, magnésio e ferro na forma de lâminas. As argilas possuem elevada área superficial devido ao seu reduzido tamanho das partículas e reagem facilmente graças às ligações não saturadas. Ao reagirem com a água, muitas vezes aumentam consideravelmente de volume (a retenção de água pode chegar a até 100% do seu peso) e passam a apresentar comportamento plástico, pois a água age como um lubrificante, facilitando a movimentação das lâminas.

Outra característica das argilas é a sua facilidade em trocar cátions, ou seja, íons positivos presentes nas soluções aquosas em contato com a argila fazem com que as lâminas distaciam-se, abrindo um espaço no qual os cátions penetram. Porém, como as ligações químicas são fracas e os espaços são pequenos, os íons não adentram a estrutura da argila, ou seja, aderem apenas nas superfícies das partículas. Sendo assim, com a mesma facilidade com que penetram nos vãos, elas saem.

A facilidade de absorção da água e de outras substâncias aquosas polares é uma característica importante das argilas conhecidas como filossilicatos. Estes podem ser classificados como filossilicatos 1:1 ou 2:1. Esta nomenclatura é devido ao arranjo das folhas tetraédricas (compostas por tetraedros de silício) e octaédricas (constituídas por hidróxidos de magnésio –  $Mg(OH)_2$  – ou hidróxidos de alumínio –  $Al(OH)_3$ ). Dentre a família dos filossilicatos 2:1, um dos mais conhecidos é a montmorillonita. Algumas de suas propriedades são explicitadas na tabela 1 [10].

Tabela 1 - Propriedades da montmorillonita

Argila	Fórmula química	Capacidade de troca de íons ( $m_{equiv}/100g$ )	Distância entre lamelas (lâminas) (nm)
Montmorillonita	$M_x(Al_{4-x}Mg_x)Si_8O_{20}(OH)_4$	110	100 - 150

#### 2.4.4 Argila modificada

A adição de cargas orgânicas ou inorgânicas em materiais poliméricos normalmente visa a melhora das propriedades ou então uma simples redução de custo. O crescente interesse nestes tipos de compósitos é devido ao fato da necessidade de adição de uma pequena quantidade de carga (aproximadamente 4% em massa) para que os resultados sejam perceptíveis.

Um material muito utilizado como carga é a argila, melhorando consideravelmente as propriedades físicas e químicas do polímero. Tal fato pode ser explicado pelo aumento na interação polímero/argila, resultado da propriedade intrínseca da argila que é possibilidade de absorção da água, como mencionado anteriormente. Além disto, pode-se citar a intercalação/delaminação como razões que levam a melhora das propriedades. Entretanto, este processo não é tão trivial devido à incompatibilidade dos materiais. Enquanto às argilas normalmente são hidrofílicas, os polímeros são, por natureza, materiais hidrófobos. Uma maneira de contornar este problema é a modificação da superfície da argila [11]. A figura 5 ilustra 3 formas de dispersão da carga no polímero.

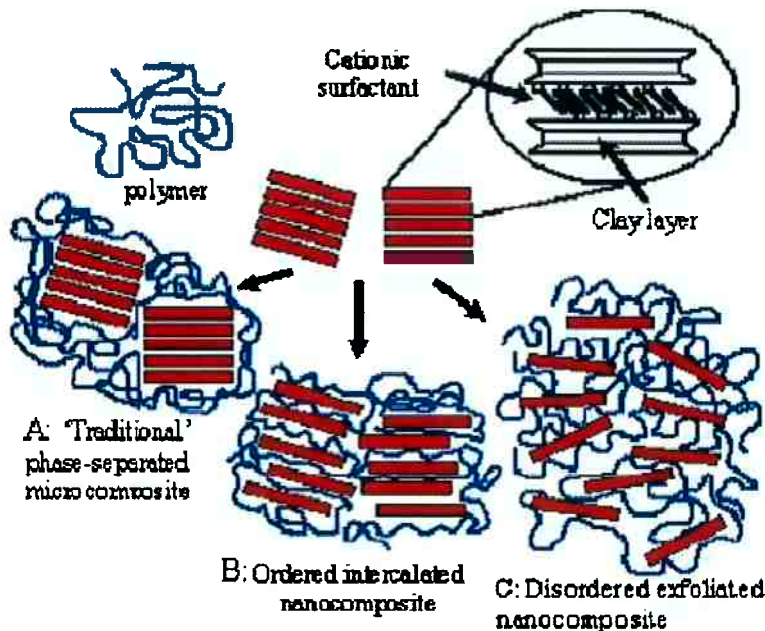


Figura 5 - (A) Microcompósito (B) Intercalação (C) Esfoliação/delaminação

### 2.4.5 Radiação por Feixe de Elétrons

Uma das primeiras observações de reticulação de polímeros ocorreu em reatores nucleares, segundo Zagórski [15]. Dada falta de informação na época (meados de 1940), acredita-se que a irradiação provocava deterioração ou até mesmo incêndios. Posteriormente, descobriu-se que o que ocorre é a reticulação (*crosslink*) entre cadeias poliméricas adjacentes [15]. Atualmente, esta tecnologia é muito usada na indústria alimentícia para prolongar a vida útil de alimentos perecíveis. São usadas fontes elétricas para gerar os feixes de elétrons que incidirão sobre a amostra.

Propriedades como módulo de elasticidade, alongamento na ruptura e resistência a tração tendem a melhorar. Porém, dependendo da dose aplicada e do tipo de material sendo submetido à irradiação, podem surgir efeitos muito distintos:

- Cisão da cadeia principal através da quebra das ligações;
- Reticulação através da formação de ligações cruzadas entre moléculas vizinhas.

O primeiro efeito é visto com mais frequência, piorando assim as propriedades mecânicas do material. Já o segundo tende a melhorar tanto as propriedades mecânicas quanto as físicas e químicas.

Outra aplicação possível é a irradiação de elastômeros a fim de promover a vulcanização do mesmo. Estudos como a de Salgueiro (2007) tem como finalidade mostrar as modificações sofridas pela borracha natural após sofrer irradiação de feixe de elétrons. Apesar de ser uma forma alternativa de vulcanização, esta tecnologia não é tão utilizada como a tradicional, ou seja, através da adição de enxofre na presença de pressão e calor [16]. Este método de vulcanização é mais rápida, apresentar resultado mais uniforme e não gerar resíduos químicos [17].

## 3 Equipamentos e Métodos

O laboratório utilizado contou com alguns equipamentos essenciais para este trabalho como a calandra (figura 6), a prensa hidráulica (figura 7) e a balança de precisão (figura 8).



Figura 6 - Calandra da marca Mecanoplast

A calandra utilizada é da marca Mecanoplast. Esta máquina possui um gabinete fixo no qual está acoplado um conjunto de cilindros de aço cromados. A velocidade é controlada pela relação de fricção entre os rolos e o material a ser misturado. A temperatura também é dependente desta relação, sendo que a fricção pode ser controlada pela regulagem manual da distância entre os rolos.



Figura 7 - Prensa hidráulica da marca Marconi

A prensa hidráulica usada para aquecimento e confecção das mantas é da marca Marconi. Algumas características relevantes são pressão máxima de 50 toneladas com acionamento hidráulico manual e 2 (duas) placas de inox. O

sistema de aquecimento se dá através de resistências embutidas nas placas e a temperatura é regulada através de 2 (dois) controladores independentes, 1 (um) para cada placa.



Figura 8 - Balança de precisão da marca Tecnal

A balança de precisão utilizada em todas as pesagens foi a da marca Tecnal, modelo Mark 500. Possui pés para nivelar o aparelho e um conjunto formado por anel protetor, suporte do prato e prato de pesagem. As massas máxima e mínima suportadas pelo aparelho são 500g e 0,02g, respectivamente.

### 3.1 Ensaio Mecânico de Tração

O ensaio mecânico de tração consiste na aplicação de uma carga uniaxial crescente. O corpo de prova ensaiado deve respeitar normas específicas (no caso foi usado as normas ASTM D412 [12]). É um ensaio muito usado para obter dados do material como alongamento, limite de escoamento, tensão no limite de resistência, estrição, entre outros. A realização dos ensaios foi realizada com o uso do aparelho (figura 9) da marca Instron, modelo 5567.



**Figura 9 – Máquina de ensaio de tração da marca Instron, modelo 5667**

A precisão dos resultados depende muito da qualidade dos corpos de prova e dos parâmetros utilizados. Destes, pode-se citar 3 que são de suma importância:

- Distância entre as garras;
- Velocidade de movimentação das garras;
- Célula de carga.

### **3.2 Espectroscopia no Infravermelho**

A análise de grupos funcionais de estruturas orgânicas é estudada na faixa da radiação infravermelho do espectro eletromagnético. Está compreendida entre a região do visível e das microondas (figura 10).

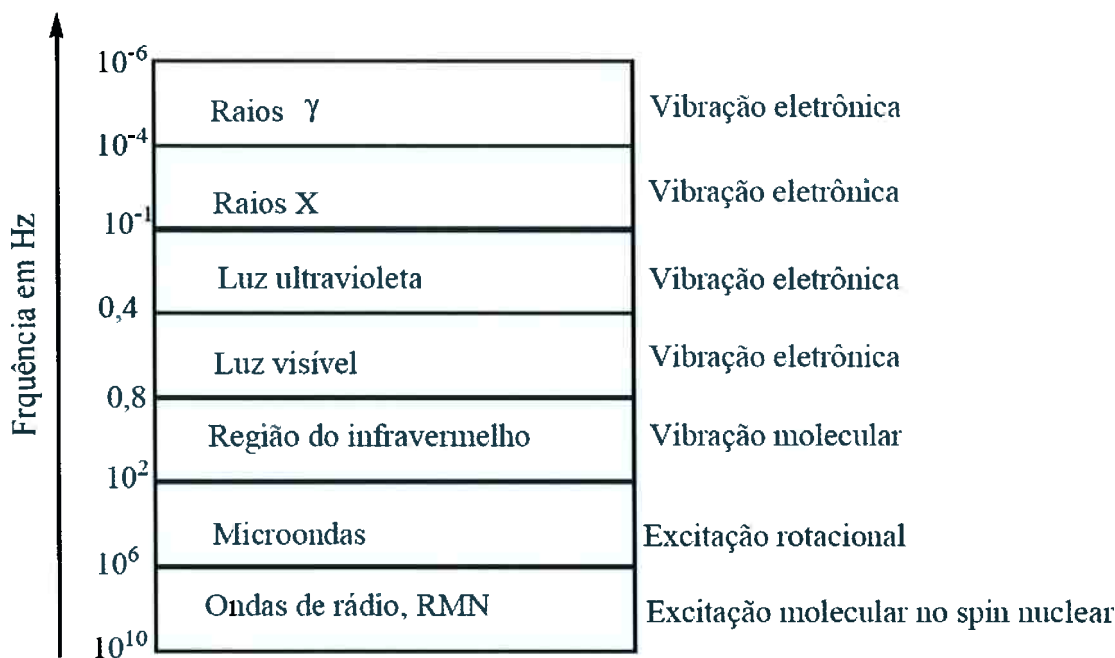


Figura 10 - Espectro eletromagnético [13]

O princípio desta análise está na absorção da radiação infravermelha devido ao movimento rotacional ou vibracional das moléculas. Estes tipos de movimento causam momento de dipolo elétrico, condição necessária para que o campo elétrico diferencial da radiação que incide sobre as moléculas interaja com as mesmas e amplie o movimento natural dos átomos, originando assim os espectros. Pode-se dizer que existem 6 maneiras de vibração das ligações moleculares:

- Deformação axial simétrica (estiramento simétrico);
- Deformação axial assimétrica (estiramento assimétrico);
- Deformação angular simétrica no plano ("scissor");
- Deformação angular simétrica fora do plano ("wagging");
- Deformação angular assimétrica no plano ("rocking");
- Deformação angular assimétrica fora do plano ("twist").

As figuras 11 e 12 ilustram as formas de vibrações da molécula de CO<sub>2</sub> e do grupo funcional -CH<sub>2</sub>, respectivamente.

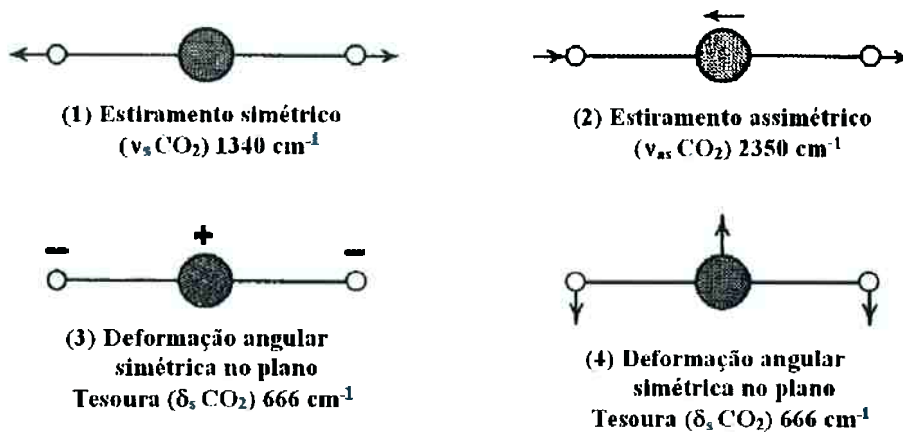


Figura 11 - Modos de vibração da molécula  $\text{CO}_2$

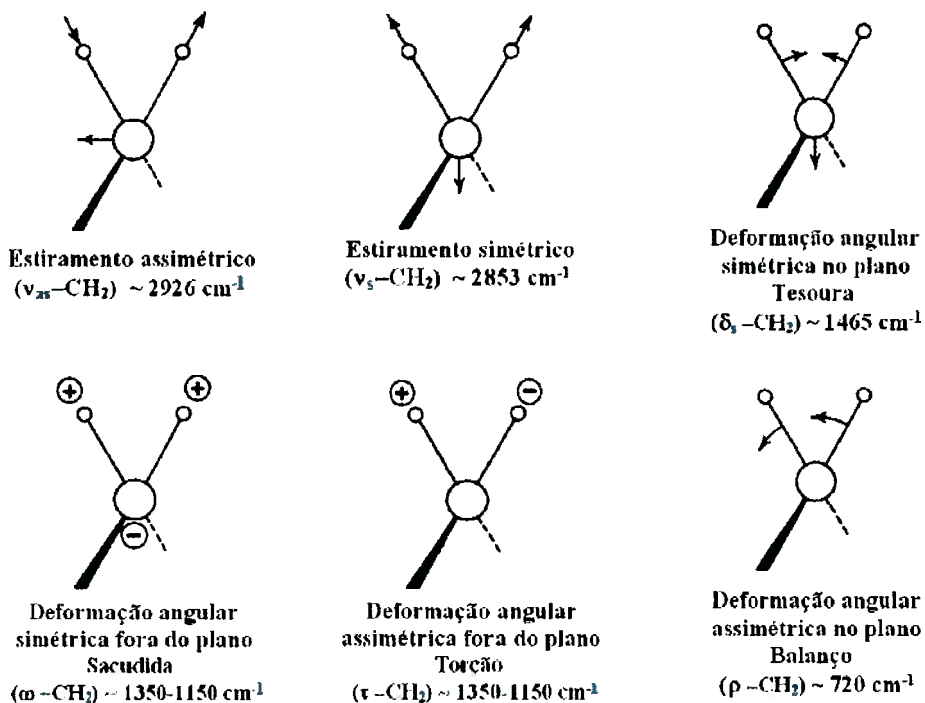


Figura 12 - Modos vibracionais do grupo funcional  $-\text{CH}_2$

### 3.3 Ensaio de Dureza Shore

A dureza é a propriedade mecânica que mede a resistência do material à riscos e/ou formação de marcas permanentes. A dureza ao risco é medida em Mohs, a dureza à penetração em Brinell, Meyer, Vickers ou Rockwell e, por fim, a dureza ao choque medida em Shore.

O ensaio consiste na impressão de uma marca no material através da queda de um pêndulo. Este possui um penetrador na ponta e é solto de uma determinada altura. A dureza do material é calculada como a diferença da

perda de energia cinética do pêndulo absorvida pelo material e a energia de deformação plástica do mesmo.

#### 4 Parte Experimental

Primeiramente foi preparada uma massa com 100g de borracha natural (figura 13) que servirá para a confecção de duas mantas.



Figura 13 - Borracha natural utilizada na confecção das mantas

Cada uma delas foi cortada com o auxílio de uma ferramenta de corte (figura 14), originando corpos de prova que serviram de referência para as experiências seguintes.



Figura 14 - Molde usado para corte dos corpos de prova a partir das mantas

À massa foram adicionados os aditivos:

- Dissulfeto de mercaptobenzotiazol (MBTS);
- Dissulfeto de tetrametil (TMTD);
- Enxofre (S);
- Ácido esteárico.



Figura 15 - Amostras de MBTS e TMTD



Figura 16 - Amostras de enxofre e ácido esteárico

A proporção utilizada foi de 3%, 1%, 3% e 2% em massa, respectivamente.

Após a massa estar homogênea (figura 17) e a borracha ter dado início ao processo de vulcanização (ou seja, após a adição dos aditivos), ela foi cortada igualmente em duas partes e então colocada dentro de uma forma quadrada de 14,5 cm (figura 18).



Figura 17 - Massa sendo homogeneizada na calandra



Figura 18 - Forma usada em conjunto com a prensa hidráulica

A 1ª manta foi mantida sob uma temperatura de 160 °C e pressão de 15 toneladas por 5 minutos (figura 19). O tempo de permanência na prensa hidráulica provou-se insuficiente, pois a manta não preencheu completamente a forma e houve formação de bolhas, ou seja, não ocorreu a vulcanização total da borracha natural.



Figura 19 - Controlador de temperatura da prensa hidráulica

Tendo em vista o resultado anterior, a 2ª manta foi mantida por um tempo maior em relação à 1ª (cerca de 8 minutos) e a pressão aplicada foi maior (20 toneladas).

Em seguida, foram preparadas 3 massas de 120g cada, a partir de luvas cirúrgicas e borracha natural. A proporção usada foi de 100g de luvas

cirúrgicas picotadas (figura 20) e 20g de borracha natural, esta última utilizada para agilizar o processo de homogeneização da massa durante o cisalhamento na calandra.



Figura 20 - Luvas cirúrgicas picotadas

As cargas escolhidas para o estudo foram:

- Argila natural (AN);
- Argila modificada (AM);
- Cinza de casca de arroz (CCA);
- Pó de pneu (PP).

A partir destas cargas foram separadas e pesadas 6 misturas de composições distintas (figura 21), conforme listadas na tabela 2 abaixo.

Tabela 2 - Composição das misturas usadas na confecção das mantas

<b>Mistura 1</b>	<b>Mistura 2</b>	<b>Mistura 3</b>
10 PCR em peso de AN	10 PCR em peso de AN	10 PCR em peso de AN
10 PCR em peso de AM	10 PCR em peso de CCA	10 PCR em peso de PP



Figura 21 - Cargas pesadas e separadas

A tabela 3 apresenta as quantidades de aditivos adicionadas às misturas mencionadas acima.

Tabela 3 - Aditivos pesados e separados

	<b>Mistura 1</b>	<b>Mistura 2</b>	<b>Mistura 3</b>
Enxofre	3,596 g	3,570 g	3,598 g
MBTS	3,603 g	3,607 g	3,598 g
TMTD	1,208 g	1,198 g	1,218 g

A etapa inicial do preparo das massas é igual à das anteriores, no qual as luvas picotadas e a borracha natural são cisalhadas através da calandra (figuras 22).



**Figura 22 - Luvas picotadas após passagem pela calandra**



**Figura 23 - Homogeneização da massa composta por luvas picotadas**



Figura 24 - Adição das cargas após a homogeneização da massa

Após a homogeneização da massa (figura 23), são adicionadas as cargas antes dos aditivos (figura 24). Esta sequência deve ser respeitada devido ao fato de os aditivos reagirem rapidamente com a borracha natural, promovendo a vulcanização do mesmo.

## 5 Resultados e Conclusões

### 5.1 Ensaio de Tração

Os ensaios de tração realizados no IPEN (agradecimentos ao Djalma) foram realizados tanto para os corpos de prova irradiados quanto para os não irradiados. A realização dos ensaios foi feita usando-se uma célula de carga com capacidade máxima de 1kN, velocidade de movimentação da garra de 50mm/min. e distância inicial entre as garras de 50mm.

#### 5.1.1 CP(Borracha natural)

Os corpos de prova feitos a partir de borracha natural foram ensaiados e seus resultados serão usados como referência. Os dados coletados são explicitados abaixo.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de tração para os CP não irradiados de borracha natural

	Alongamento na ruptura (mm)	Carga na ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)
--	-----------------------------	----------------------	----------------------------

Amostra 1	120,000	44,103	3,182
Amostra 2	127,500	34,633	3,104
Média	123,750	43,561	3,597
Máximo	127,500	44,103	3,182
Mínimo	120,000	34,633	3,104
Desvio padrão	5,303	0,766	0,055

O gráfico de tensão versus deformação da amostra 1 e 2, respectivamente, são apresentados abaixo.

#### LATEX ( BORRACHA NATURAL)

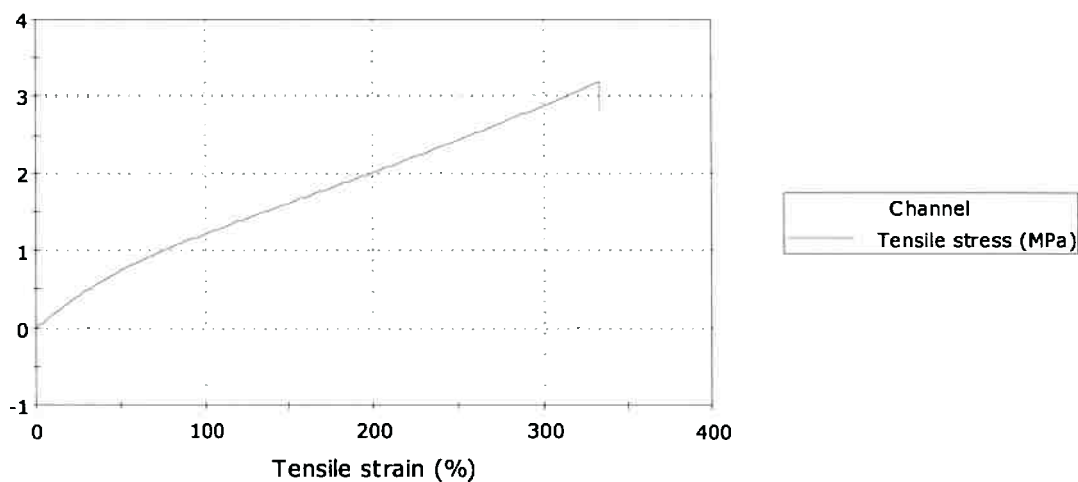


Figura 25 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 não irradiado de BN

### LATEX ( BORRACHA NATURAL)

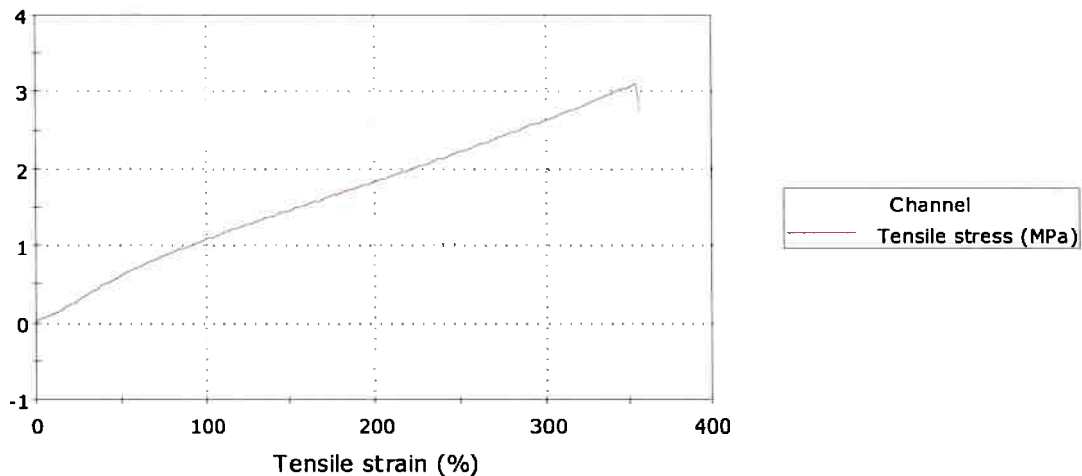


Figura 26 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 não irradiado de BN

As amostras foram irradiadas com feixes de elétrons. Os resultados do ensaio de tração destas amostras seguem abaixo.

Tabela 5 - Resultados do ensaio de tração dos CP irradiados de BN

	Alongamento na ruptura (mm)	Carga na ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)
Amostra 1	94,167	37,950	2,738
Amostra 2	105,833	41,935	3,026
Amostra 3	120,833	54,556	3,936
Média	106,944	44,814	3,233
Máximo	120,833	54,556	3,936
Mínimo	94,167	37,950	2,738
Desvio padrão	13,368	8,669	0,625

As curvas de tensão versus deformação obtidas com os dados acima são:

BORRACHA NATURAL (SEM CARGAS) IRRADIADA

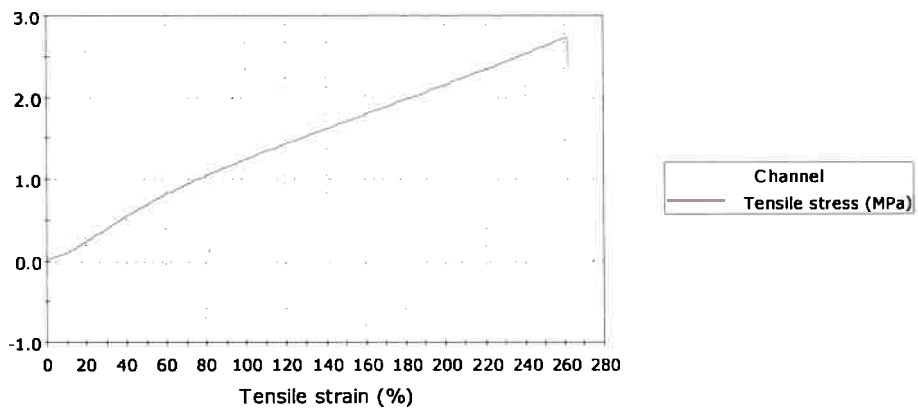


Figura 27 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 irradiado de BN

BORRACHA NATURAL (SEM CARGAS) IRRADIADA

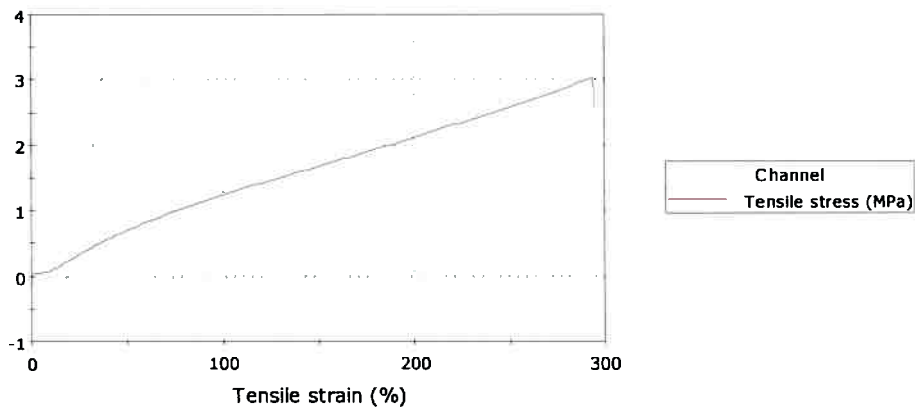


Figura 28 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 irradiado de BN

BORRACHA NATURAL (SEM CARGAS) IRRADIADA

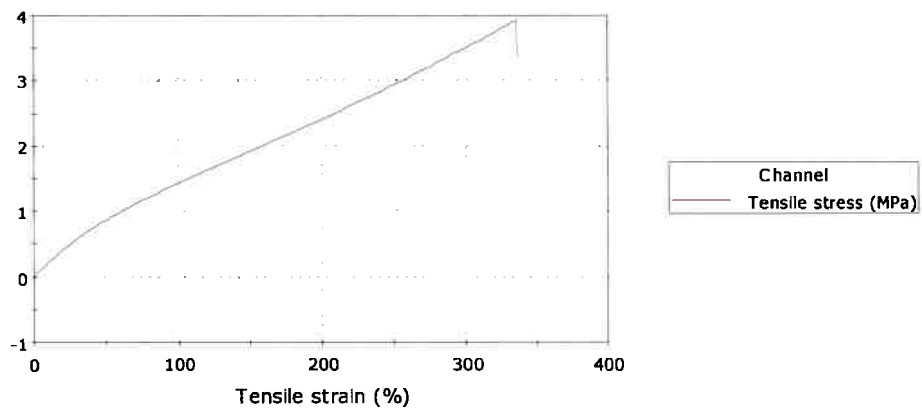


Figura 29 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 irradiado de BN

### 5.1.2 CP(LC + BN) Irrradiados e Não Irradiados

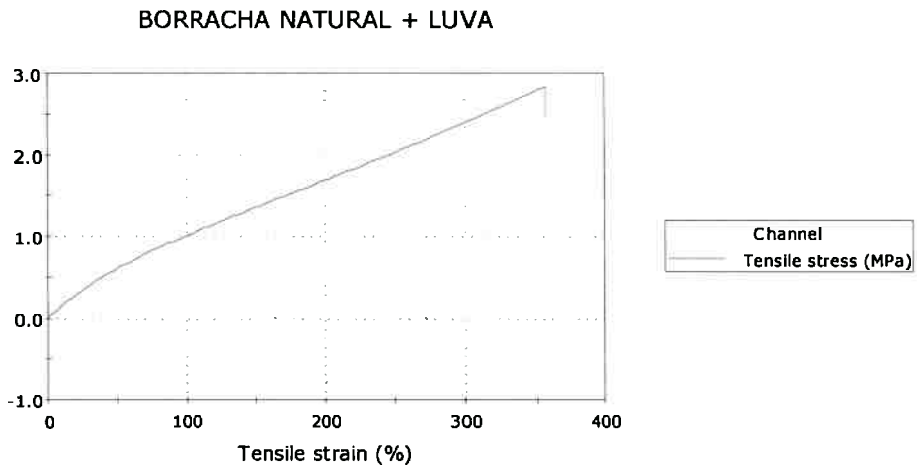
A seguir seguem os resultados do ensaio de tração dos corpos de prova feitos a partir de luvas cirúrgicas picotadas mais borracha natural, tanto os irradiados quanto os não irradiados.

A tabela abaixo mostra os dados dos corpos de prova não irradiados.

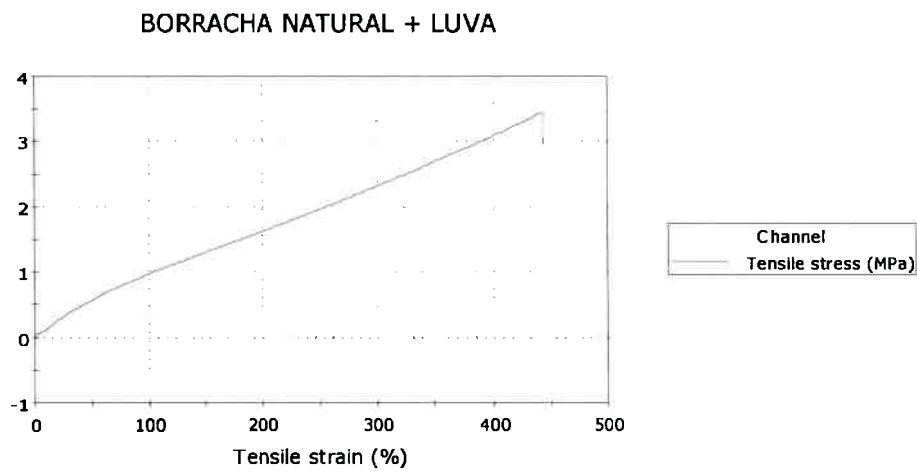
Tabela 6 - Resultados do ensaio de tração dos CP não irradiados de LC + BN

	Alongamento na ruptura (mm)	Carga na ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)
Amostra 1	128,333	39,281	2,834
Amostra 2	159,167	47,786	3,448
Amostra 3	133,833	42,696	3,081
Média	140,278	43,254	3,121
Máximo	159,167	47,786	3,448
Mínimo	128,333	39,281	2,834
Desvio padrão	16,548	4,280	0,309

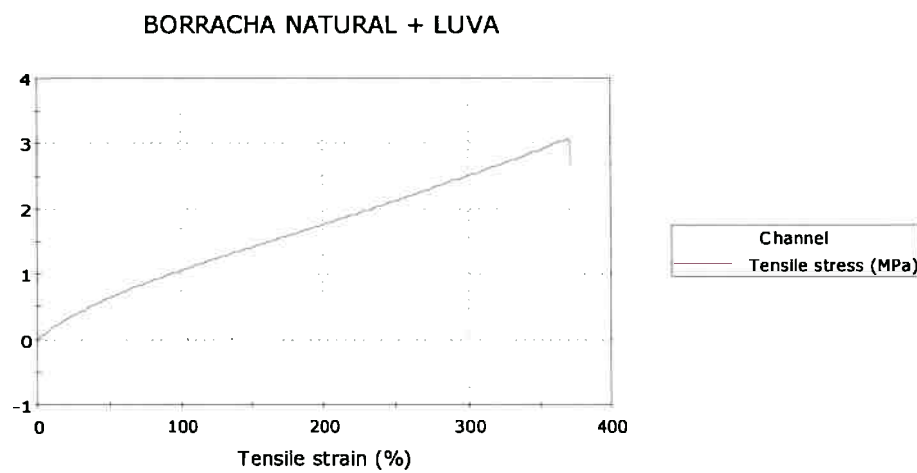
Os gráficos de tensão versus deformação gerados foram:



**Figura 30 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 não irradiado de LC + BN**



**Figura 31 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 não irradiado de LC + BN**



**Figura 32 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 não irradiado de LC + BN**

Os corpos de prova irradiados apresentaram os seguintes resultados.

**Tabela 7 - Resultados do ensaio de tração dos CP irradiados de LC + BN**

	Alongamento na ruptura (mm)	Carga na ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)
Amostra 1	103,333	40,881	2,950
Amostra 2	100,833	34,633	2,499
Amostra 3	75,833	32,453	2,341
Média	93,333	35,989	2,597
Máximo	103,333	40,881	2,950
Mínimo	75,833	32,453	2,341
Desvio padrão	15,207	4,375	0,316

Os gráficos de tensão versus deformação das amostras irradiadas seguem abaixo.

BORRACHA NATURAL + LUVAS (SEM CARGAS) IRRADIADA

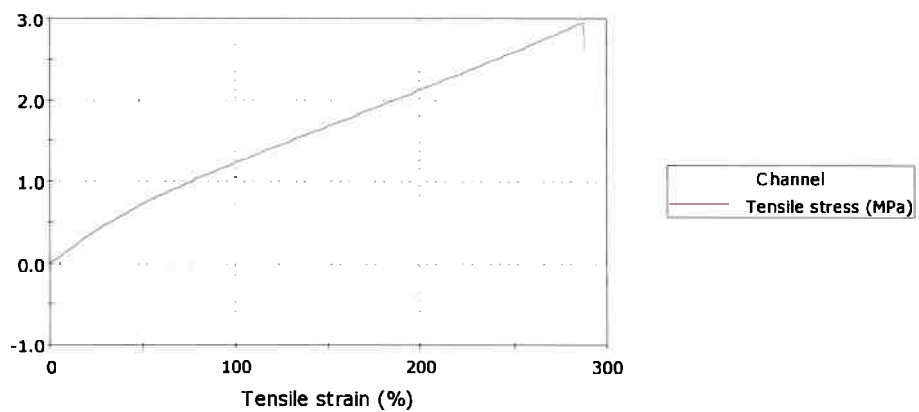


Figura 33 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 irradiado de LC + BN

BORRACHA NATURAL + LUVAS (SEM CARGAS) IRRADIADA

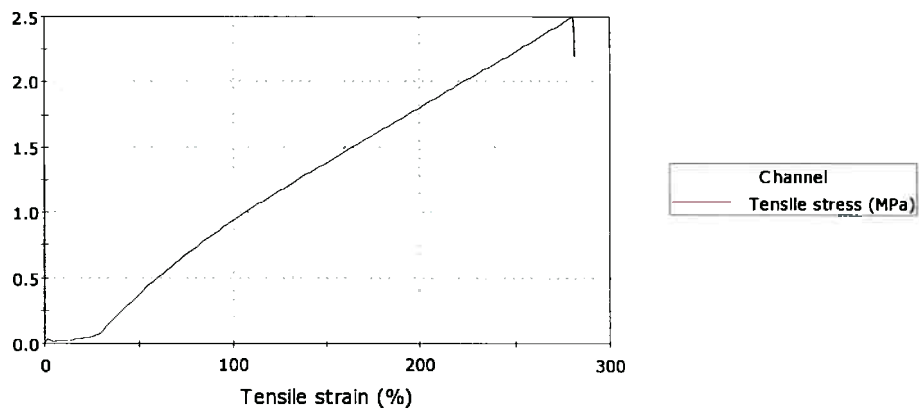


Figura 34 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 irradiado de LC + BN

BORRACHA NATURAL + LUVAS (SEM CARGAS) IRRADIADA

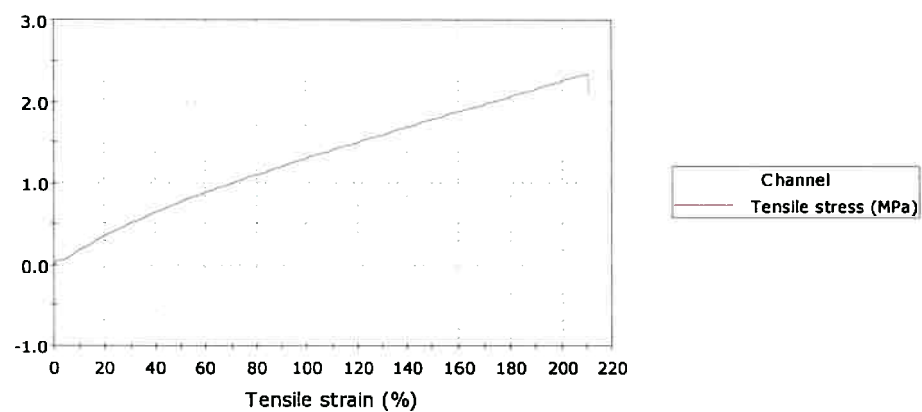


Figura 35 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 irradiado de LC + BN

### 5.1.3 CP(LC + BN + AN + PP) Irrradiados e Não Irrradiados

Os corpos de prova que apresentam argila natural e pó de pneu como cargas e que não foram irradiados, apresentaram os seguintes resultados:

Tabela 8 - Resultados do ensaio de tração dos CP não irradiados de LC + BN + AN + PP

	Alongamento na ruptura (mm)	Carga na ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)
Amostra 1	105,833	62,152	4,484
Amostra 2	68,333	45,564	3,287
Amostra 3	81,667	51,140	3,690
Média	85,278	52,952	3,820
Máximo	105,833	62,152	4,484
Mínimo	68,333	45,564	3,287
Desvio padrão	19,009	8,441	0,609

Os gráficos de tensão versus deformação obtidos através dos dados acima são apresentados abaixo.

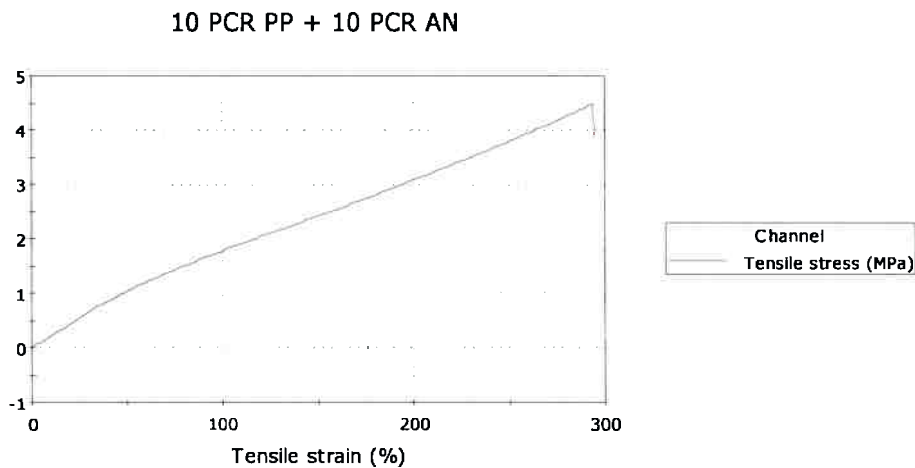
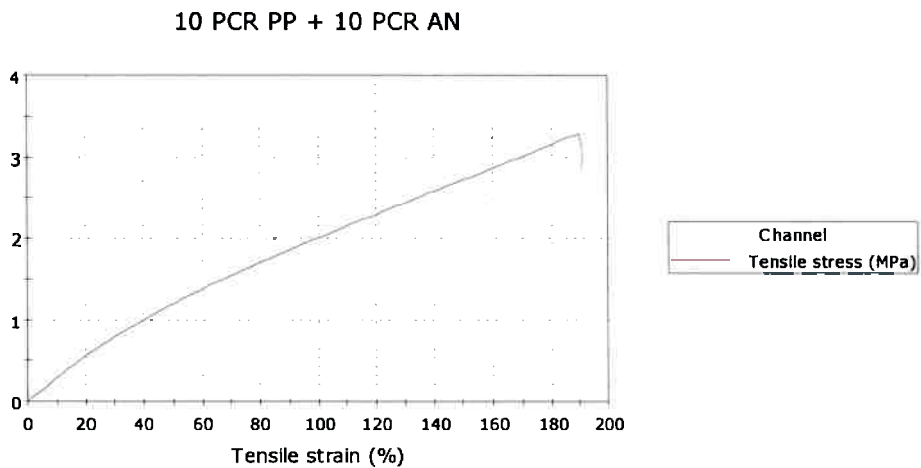
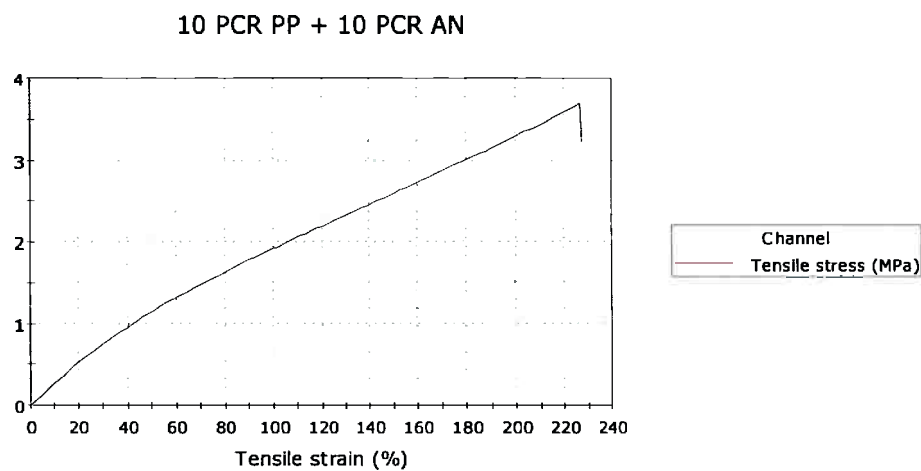


Figura 36 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 não irradiado de LC + BN + AN + PP



**Figura 37 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 não irradiado de LC + BN + AN + PP**



**Figura 38 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 não irradiado de LC + BN + AN + PP**

Já os corpos de prova, com mesma composição de cargas, irradiados apresentaram os seguintes resultados:

**Tabela 9 - Resultados do ensaio de tração dos CP irradiados de LC + BN + AN + PP**

	Alongamento na ruptura (mm)	Carga na ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)
Amostra 1	68,333	53,288	3,845
Amostra 2	62,500	45,881	3,310
Amostra 3	69,167	55,228	3,985
Média	66,667	51,466	3,713

Máximo	69,167	55,228	3,985
Mínimo	62,500	45,881	3,310
Desvio padrão	3,632	4,933	0,356

Com os dados acima, são traçadas as seguintes curvas de tensão versus deformação.

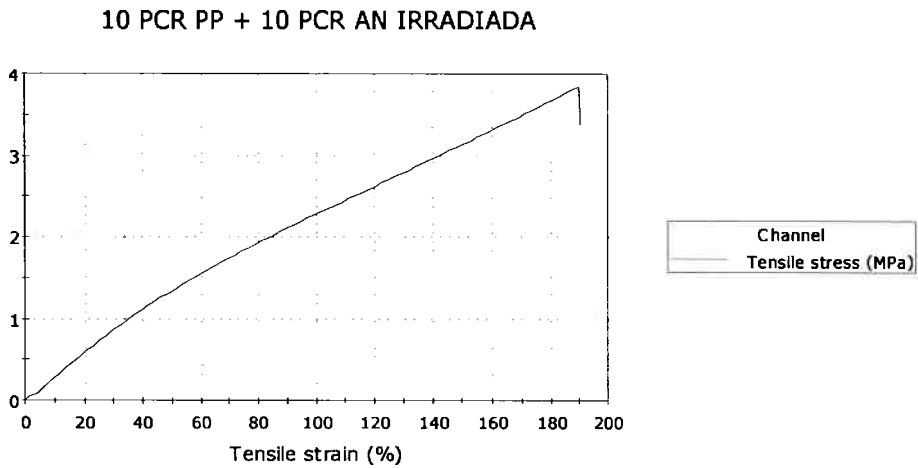


Figura 39 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 irradiado de LC + BN + AN + PP

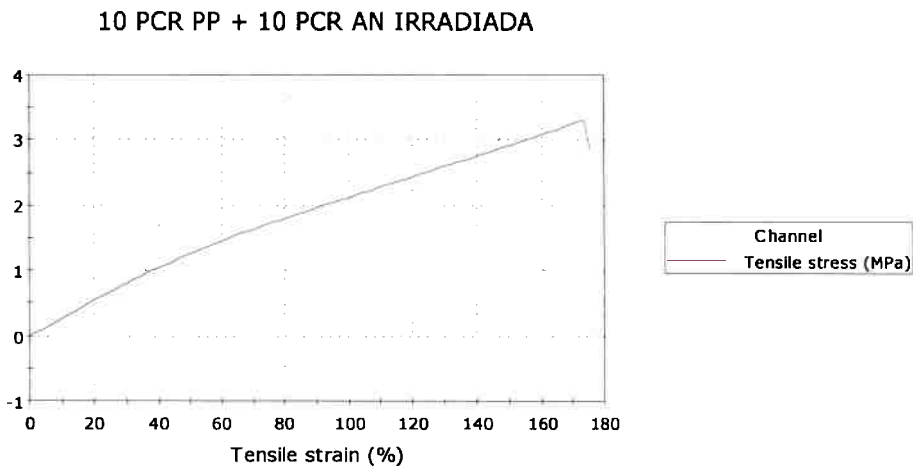


Figura 40 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 irradiado de LC + BN + AN + PP

10 PCR PP + 10 PCR AN IRRADIADA

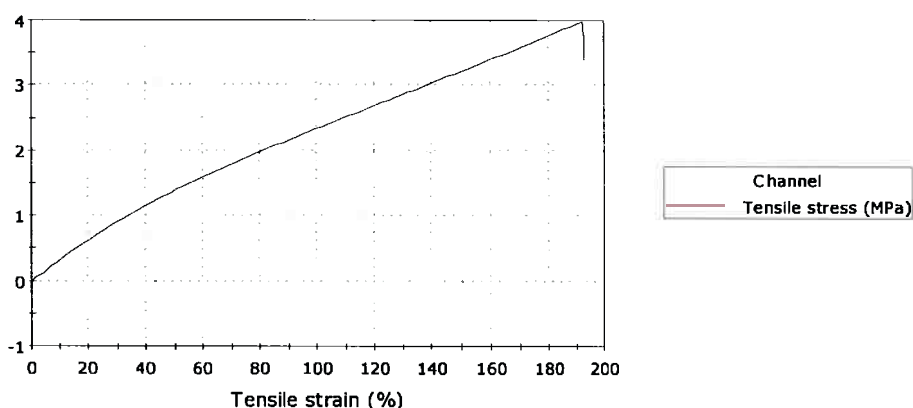


Figura 41 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 irradiado de LC + BN + AN + PP

#### 5.1.4 CP(LC + BN + AN + CCA) Irrradiados e Não Irradiados

A tabela abaixo apresenta os dados coletados do ensaio de tração realizado nos corpos de prova não irradiados que possuem argila natural e cinza de casca de arroz na sua composição.

Tabela 10 - Resultados do ensaio de tração dos CP não irradiados de LC + BN + AN + CCA

	Alongamento na ruptura (mm)	Carga na ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)
Amostra 1	110,833	56,203	4,055
Amostra 2	120,000	58,881	4,248
Amostra 3	105,000	57,538	4,151
Média	111,944	57,541	4,151
Máximo	120,000	58,881	4,055
Mínimo	105,000	56,203	3,310
Desvio padrão	7,561	1,339	0,097

A partir dos dados acima, é possível traçar os seguintes gráficos de tensão versus deformação.

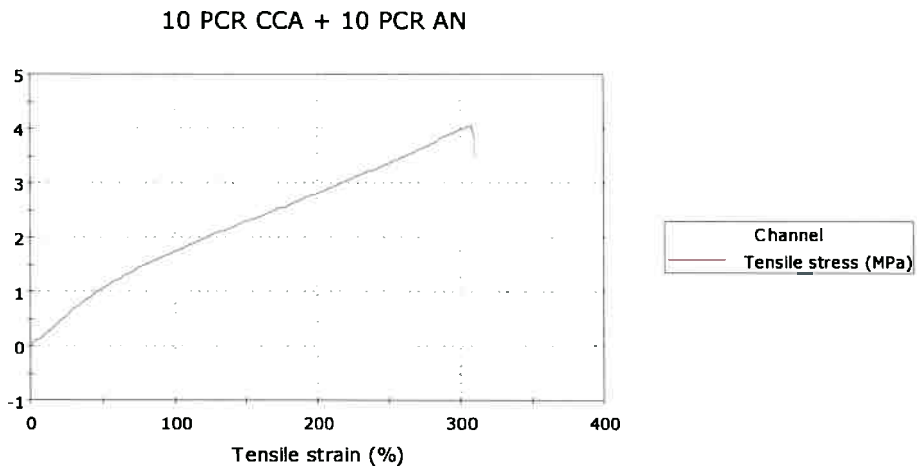


Figura 42 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 não irradiado de LC + BN + AN + CCA

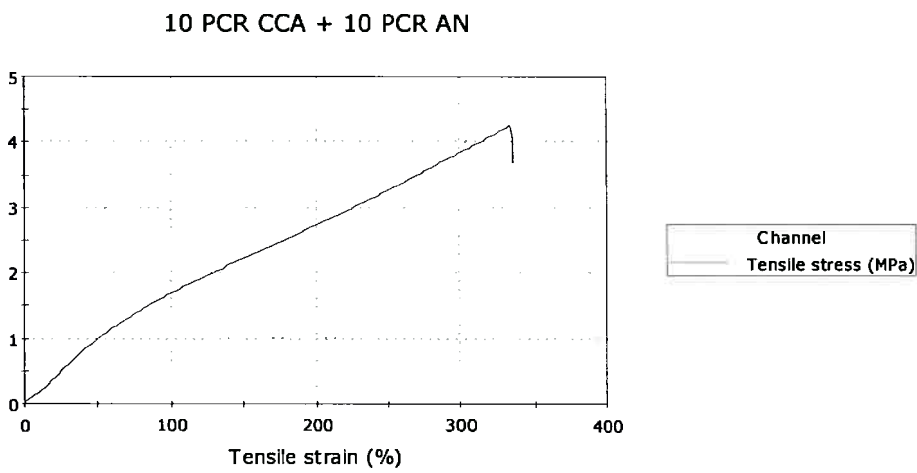


Figura 43 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 não irradiado de LC + BN + AN + CCA

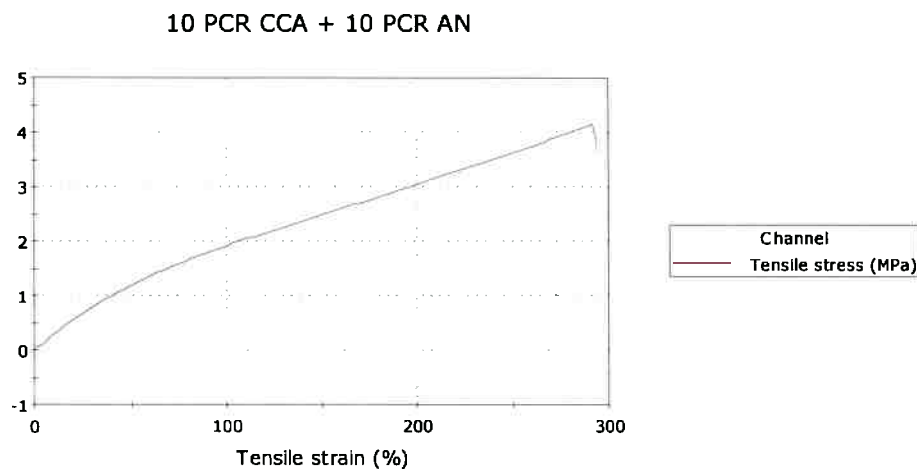


Figura 44 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 não irradiado de LC + BN + AN + CCA

Já os corpos irradiados apresentaram os seguintes resultados.

Tabela 11 - Resultados do ensaio de tração dos CP irradiados de LC + BN + AN + CCA

	Alongamento na ruptura (mm)	Carga na ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)
Amostra 1	88,333	54,420	3,926
Amostra 2	87,500	58,624	4,230
Amostra 3	91,667	56,394	4,069
Média	89,167	56,480	4,075
Máximo	91,667	58,624	4,230
Mínimo	87,500	54,420	3,926
Desvio padrão	2,205	2,104	0,152

Os gráficos de tensão versus deformação das amostras acima seguem abaixo.

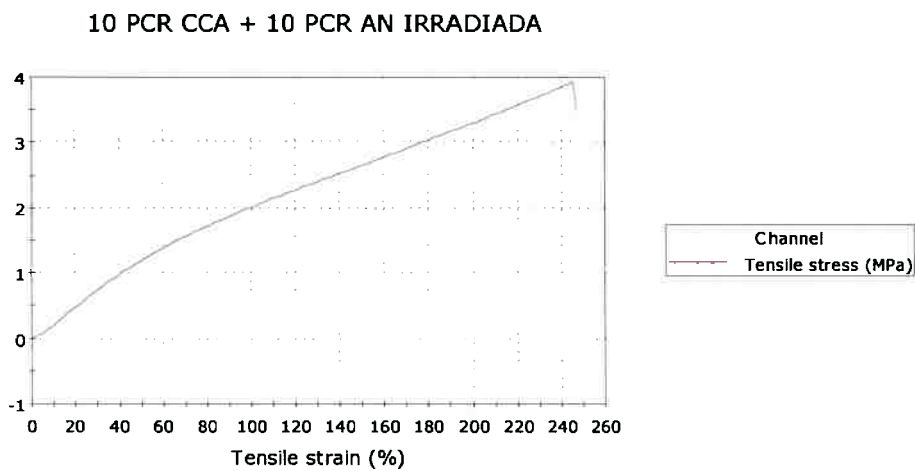


Figura 45 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 irradiado de LC + BN + AN + CCA

10 PCR CCA + 10 PCR AN IRRADIADA

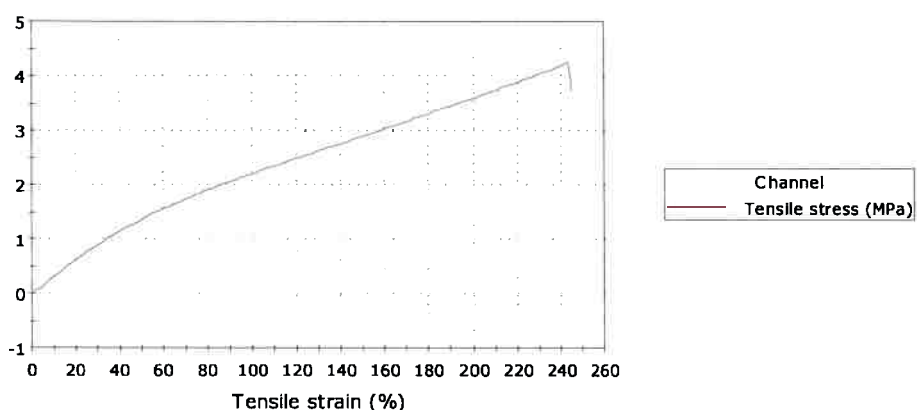


Figura 46 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 irradiado de LC + BN + AN + CCA

10 PCR CCA + 10 PCR AN IRRADIADA

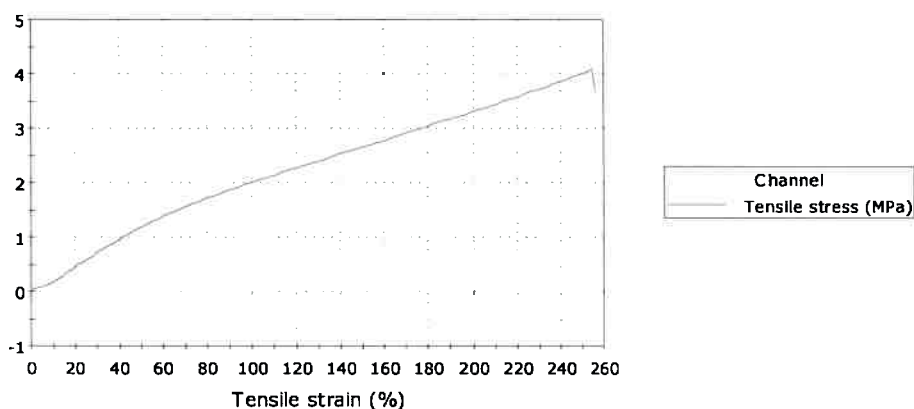


Figura 47 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 irradiado de LC + BN + AN + CCA

### 5.1.5 CP(LC + BN + AN + AM) Irradiados e Não Irradiados

Por fim, a tabela abaixo mostra os resultados do ensaio de tração dos corpos de prova não irradiados que possuem como cargas argila natural e argila modificada.

Tabela 12 - Resultados do ensaio de tração dos CP não irradiados de LC + BN + AN + AM

	Alongamento na ruptura (mm)	Carga na ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)
Amostra 1	128,733	50,617	3,652
Amostra 2	154,017	60,584	4,371
Amostra 3	103,333	45,268	3,266

Média	128,694	52,156	3,763
Máximo	154,017	60,584	4,371
Mínimo	103,333	45,268	3,266
Desvio padrão	25,342	7,773	0,561

Os gráficos de tensão versus deformação referentes às amostras acima são:

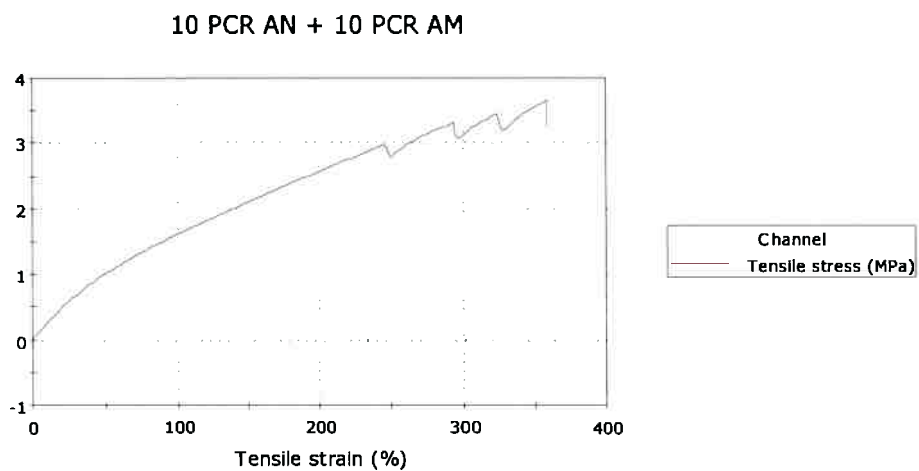


Figura 48 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 não irradiado de LC + BN + AN + AM

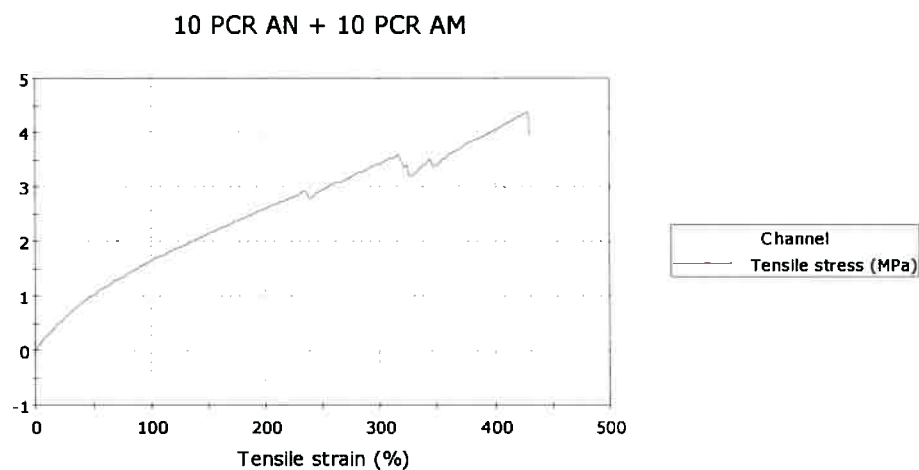
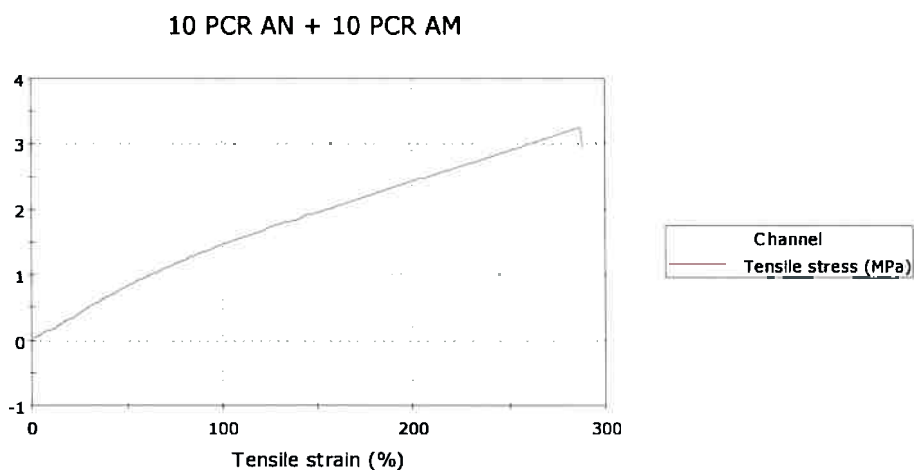


Figura 49 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 não irradiado de LC + BN + AN + AM



**Figura 50 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 não irradiado de LC + BN + AN + AM**

Os corpos de prova, com a mesma composição de cargas, que foram irradiados apresentaram os seguintes resultados.

**Tabela 13 - Resultados do ensaio de tração dos CP irradiados de LC + BN + AN + AM**

	Alongamento na ruptura (mm)	Carga na ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)
Amostra 1	45,000	41,703	3,009
Amostra 2	53,333	50,374	3,635
Amostra 3	42,500	41,513	2,995
Média	46,944	44,530	3,213
Máximo	53,333	50,374	3,635
Mínimo	42,500	41,513	2,995
Desvio padrão	5,672	5,062	0,365

Os gráficos de tensão versus deformação dos corpos de prova acima são dados abaixo:

10 PCR AM + 10 PCR AN IRRADIADA

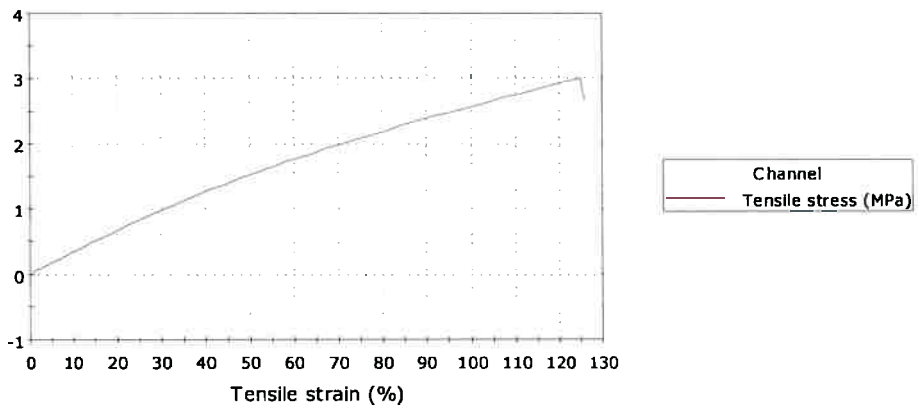


Figura 51 - Gráfico de tensão X deformação do CP 1 irradiado de LC + BN + AN + AM

10 PCR AM + 10 PCR AN IRRADIADA

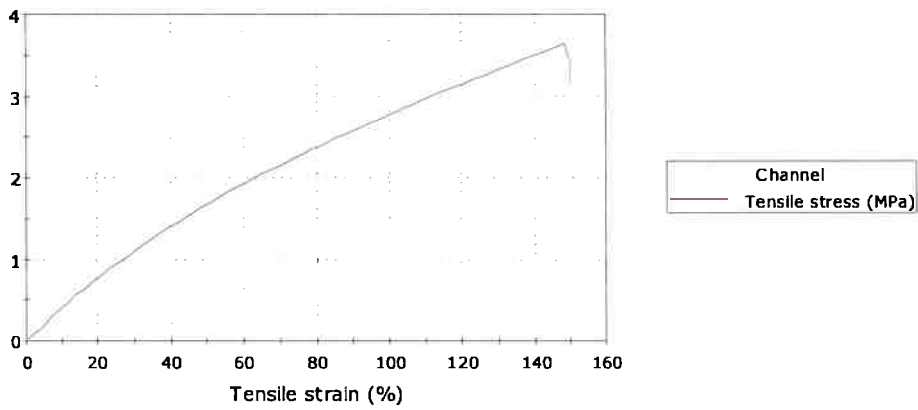


Figura 52 - Gráfico de tensão X deformação do CP 2 irradiado de LC + BN + AN + AM

10 PCR AM + 10 PCR AN IRRADIADA

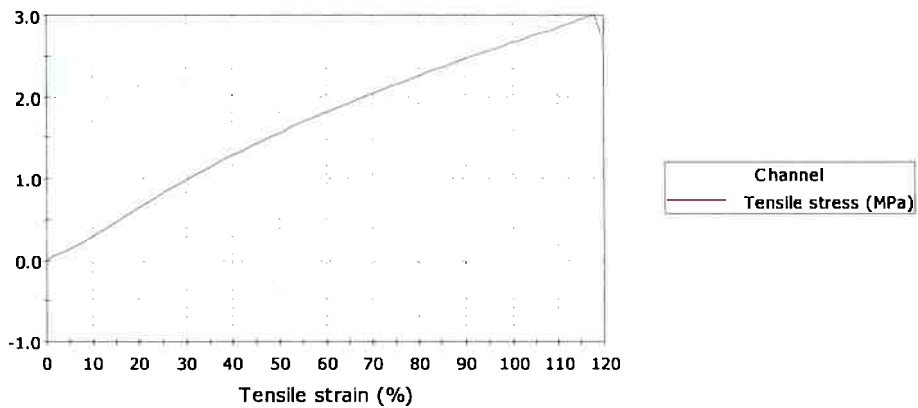


Figura 53 - Gráfico de tensão X deformação do CP 3 irradiado de LC + BN + AN + AM

### 5.1.6 Discussões

Para facilitar na análise dos resultados do ensaio de tração, as tabelas 14 e 15 reúnem as médias do alongamento na ruptura, carga na ruptura e resistência à tração antes e após a irradiação de elétrons, respectivamente.

Tabela 14 - Resumo dos dados obtidos através do ensaio de tração dos CP não irradiados

	Alongamento na ruptura (mm)	Carga na ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)
CP(BN)	123,750	43,561	3,597
CP(LC + BN)	140,278	43,254	3,121
CP(LC + BN + AN + PP)	85,278	52,952	3,820
CP(LC + BN + AN + CCA)	111,944	57,541	4,151
CP(LC + BN + AN + AM)	128,694	52,156	3,763

Tabela 15 - Resumo dos dados obtidos através do ensaio de tração dos CP irradiados

	Alongamento na ruptura (mm)	Carga na ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)
CP(BN)	106,944	44,814	3,233
CP(LC + BN)	93,333	35,989	2,597
CP(LC + BN + AN + PP)	66,667	51,466	3,713
CP(LC + BN + AN + CCA)	89,167	56,480	4,075
CP(LC + BN + AN + AM)	46,944	44,530	3,213

Nota-se que a irradiação provocou uma piora significativa nas propriedades mecânicas das amostras.

## 5.2 Espectroscopia no Infravermelho

Os resultados obtidos da análise de espectroscopia no infravermelho são explicitados a seguir. As amostras utilizadas foram as irradiadas, dado que a irradiação de elétrons não altera de forma considerável os espectros observados.

### 5.2.1 CP(BN)

O gráfico abaixo mostra o espectro da amostra feita somente com borracha natural.

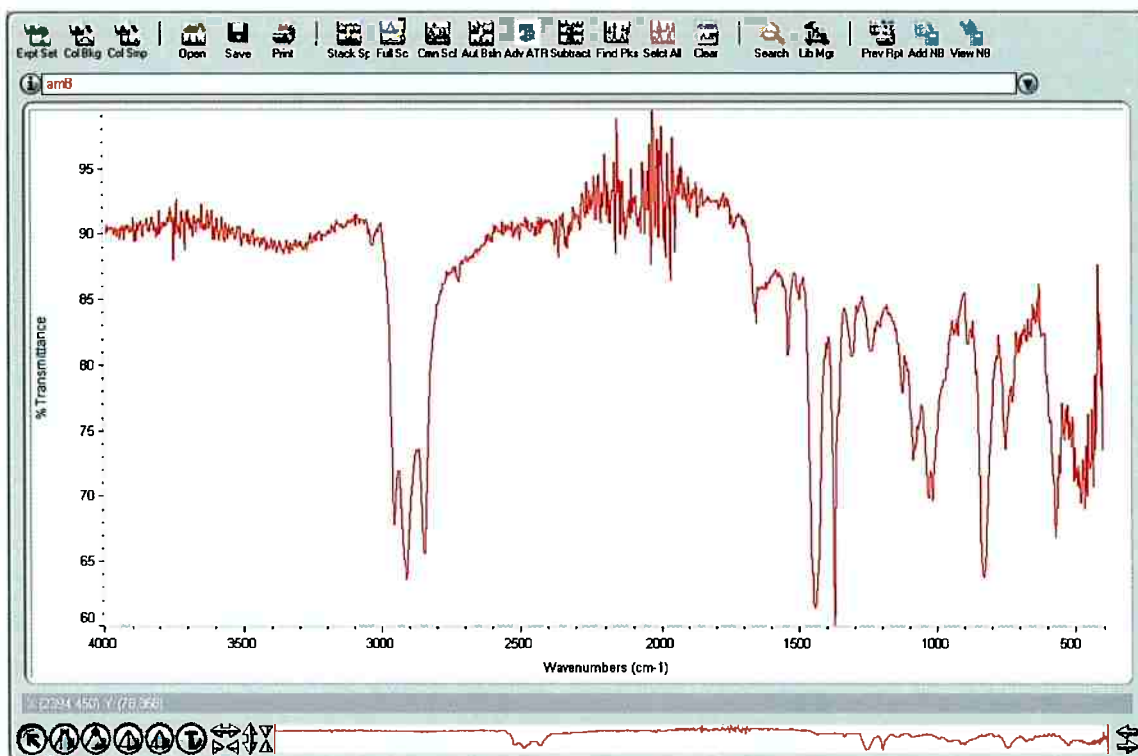


Figura 54 - Espectro no infravermelho da amostra feita a partir de BN

### 5.2.2 CP(LC + BN)

O espectro obtido da análise de espectroscopia de infravermelho da amostra feita de luvas cirúrgicas picotadas mais borracha natural é mostrado abaixo.

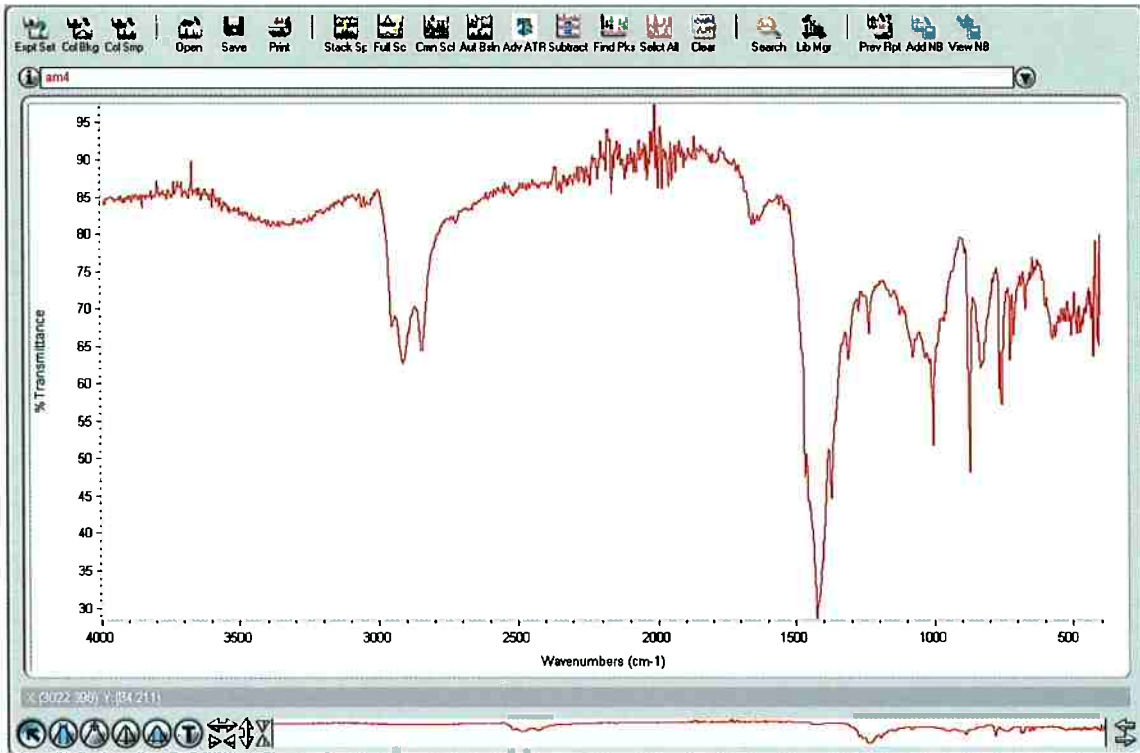


Figura 55 - Espectro no infravermelho da amostra feita a partir de LC + BN

### 5.2.3 CP(LC + BN + AN + PP)

A análise de espectroscopia no infravermelho do corpo de prova irradiado feito a partir de argila natural e pó de pneu gerou o resultado a seguir.

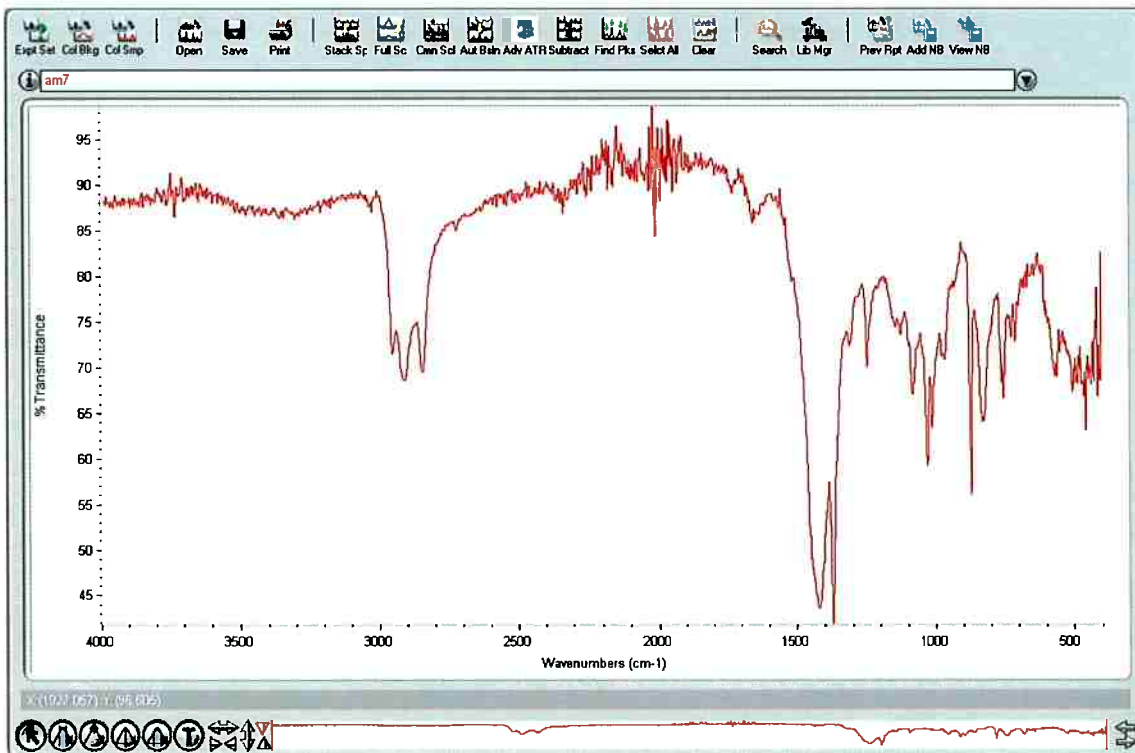


Figura 56 - Espectro no infravermelho da amostra feita a partir de LC + BN + AN + PP

#### 5.2.4 CP(LC + BN + AN + CCA)

O espectro abaixo é decorrente da espectroscopia no infravermelho da amostra irradiada composta por argila natural e cinza de casca de arroz.

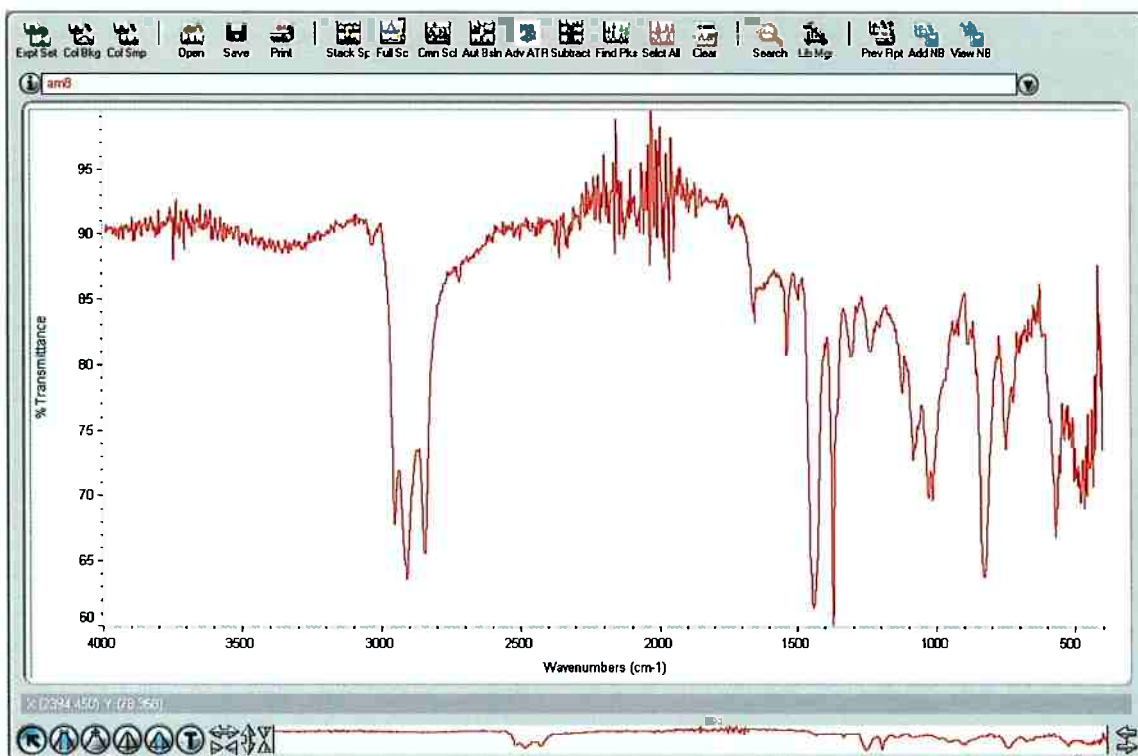


Figura 57 - Espectro no infravermelho da amostra feita a partir de LC + BN + AN + CCA

#### 5.2.5 CP(LC + BN + AN + AM)

O gráfico a seguir representa o espectro obtido a partir da espectroscopia no infravermelho do corpo de prova feito a partir da argila natural e argila modificada, após irradiação de elétrons.



Figura 58 - Espectro no infravermelho da amostra feita a partir de LC + BN + AN + AM

### 5.2.6 Discussão

Observa-se que todos os espectros obtidos apresentam configurações semelhantes, ou seja, a análise de espectroscopia no infravermelho somente permitiu a visualização das vibrações referentes às ligações das moléculas de látex. Sendo assim, não foi possível identificar as cargas adicionadas ao látex.

O pequeno pico observado na região de 3000 à 3100  $\text{cm}^{-1}$  é devido às ligações C-H (evidenciando a presença de carbono com hibridização  $\text{sp}^2$ ). Já os 3 picos observados na faixa de 2800 à 3000  $\text{cm}^{-1}$  são também decorrentes das ligações C-H, porém evidenciam a presença de carbonos com hibridização  $\text{sp}^3$ . E por fim, os picos presentes na faixa entre 1620 à 1680  $\text{cm}^{-1}$  correspondem ao estiramento da dupla ligação C=C.

### 5.3 Ensaio de Dureza Shore

Os dados de dureza obtidos para as amostras não irradiadas e irradiadas são explicitadas nas tabela 16 e 17, respectivamente. Foram feitas 3 medições para cada composição de cargas.

Tabela 16 - Valores médios de dureza das amostras não irradiadas

Amostra	Dureza Shore (média de 3 valores obtidos)
CP(BN)	43,3
CP(LC + BN)	46,5
CP(LC + BN + AN + PP)	48,9
CP(LC + BN + AN + CCA)	50,8
CP(LC + BN + AN + AM)	52,5

Tabela 17 - Valores médios de dureza obtidos das amostras irradiadas

Amostra	Dureza Shore (média de 3 valores obtidos)
CP(BN)	41,9
CP(LC + BN)	44,7
CP(LC + BN + AN + PP)	47,2
CP(LC + BN + AN + CCA)	49,7
CP(LC + BN + AN + AM)	51,1

Nota-se que a adição de cargas às luvas cirúrgicas promove um aumento da dureza. Tal fato pode ser explicado pela interação das cargas com a borracha, promovendo assim um aumento na resistência à penetração. O maior valor de dureza obtido foi para a combinação de carga AN mais AM. Dado o fenômeno de intercalação observado nas argilas modificadas, a borracha natural penetra entre as lamelas de argila, constituindo assim uma estrutura mais rígida e resistente à deformação permanente.

A irradiação de elétrons promoveu uma piora nos valores de dureza. Porém ao analisar os resultados obtidos somente para os CP irradiados, nota-se que as conclusões obtidas para os CP não irradiados são iguais, ou seja, do ponto de vista da dureza, a combinação de AN mais AM é a que apresentou maior dureza, seguido pela combinação de AN mais CCA e, por fim, AN mais PP.

## 6 Conclusões

Os ensaios realizados permitem concluir que as cargas adicionadas às luvas cirúrgicas picotadas melhoram as propriedades mecânicas do material final. Nota-se claramente a diferença entre os tipos de cargas, os considerados de reforço (argila natural e argila modificada) e os tipos como de enchimento (pó de pneu e cinza da casca de arroz).

A adição de argila natural e argila modificada foi a combinação que apresentou as maiores melhoras nas propriedades mecânicas. Dado que são materiais com maior valor agregado em relação às outras cargas, sua adição deve visar apenas utilizações mais nobres e que exijam propriedades mecânicas elevadas.

Já o pó de pneu e a cinza da casca de arroz também melhoram significativamente as propriedades finais do material, porém são materiais de baixo valor agregado. Dada a granulometria grosseira e não uniforme das partículas do pó de pneu, o mesmo não apresenta tanta interação carga/borracha como as outras cargas. Sendo assim, sua adição deve ocorrer quando não há tanta exigência sobre o produto final. Do ponto de vista de sustentabilidade, o pó de pneu é uma carga que pode muito bem ser adicionada, dado que pneus são materiais que apresentam elevado tempo de degradação e, por isso, de grande impacto ambiental quando descartados incorretamente.

A adição da cinza da casca de arroz não se mostrou eficiente na melhora das propriedades mecânicas. Porém, por tratar-se de um resíduo do processo de produção de arroz, sua adição na reciclagem de luvas cirúrgicas torna-se interessante dado que as propriedades mecânicas finais do material são próximas ao da borracha natural.

Por fim, a radiação de feixe de elétrons mostrou-se prejudicial às propriedades mecânicas das amostras analisadas. A dosagem utilizada de 100kGy acabou reduzindo consideravelmente propriedades como tensão e alongamento na ruptura e dureza Shore. A variação dessa dosagem e posterior análise das propriedades mecânicas pode ser tema de trabalhos futuros.

## 7 Referências bibliográficas

[1]

[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/camaras\\_setoriais/Borracha\\_natural/21RO/App\\_Borracha\\_Natural.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Borracha_natural/21RO/App_Borracha_Natural.pdf)

[2] Rippel, Márcia Maria; Bragança, Fábio de Carmo. "Borracha Natural e Nanocompósitos com Argila", 2009.

[3] <http://www.rubberpedia.com/vulcanizacao/vulcanizacao.php>

[4] Datta, R.N.; Datta, S.; Huntink, N.M.; Talma, A.G. **Rubber Vulcanization Degradation and Stabilization**. Rubber Chemistry and Technology, 2007.

[5] Pouey, Maria Tereza Fernandes, "Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico", 2006.

[6] JAMES, Jose; RAO, M. Subba. Characterization of Silica in Rice Husk Ash. **American Ceramic Soc. Bull**, 65. 1986.

[7] JAMES, Jose; RAO, M. Subba. Reactivity of Rice of Rice Husk Ash. **Cement and Concrete Research**. v. 16, 1986.

[8] JAMES, Jose; RAO, M. Subba. Silica from Rice Husk Through Thermal Decomposition **Thermochemica Acta**. Amsterdam: 1986

[9] HOUSTON, D.F. Rice: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemistry, Minnesota, p 301-352, 1972.

[10] Kaneko, Manuela Lima Queiroz de Andrade. Compósitos e nanocompósitos de silicóna/montmorillonita. Campinas, SP, 2009.

[11] Atwood, J.L.; Davie, L.E.D.; MacNicol, D.D.; Vogtle, F. "Layered solids and their intercalation chemistry" em "Comprehensive Supramolecular Chemistry", vol.7 Pergamon, New York, 1996.

[12] <http://www.astm.org/Standards/D412.htm>

[13] Bruice, P.Y. *Química Orgânica*. 4. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006. Champe, P.C.; Harvey, R.A.; Ferrier, D.R. *Bioquímica ilustrada*. Porto Alegre: ArtMed, 2006.

[14] Haack, Micheli de Souza – *Análise de Materiais por Espectroscopia no Infravermelho dentro do Sistema de Gestão de Qualidade conforme ABNT*. Porto Alegre, 2010.

[15] Zagórski, Z. P. EB – crosslinking of elastomers, how does it compare with radiation crosslinking of other polymers. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 71, 2004.

[16] Salgueiro, W.; Somozaa, A.; Marzocca, A. J.; Consolati, G.; & Quasso, F. Evolution of crosslinking structure in the elastomer NR and SBR. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 76, 2007.

[17] Vijayabaskar, V.; Tikku, V. K. & Bhowmick, A. K. Electron beam modification and crosslinking: Influence of nitrile and carboxyl contents and level of unsaturation on structure and properties of nitrile rubber. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 75, 2006.