

## AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ÓLEOS USADOS NA PRODUÇÃO DE COMPOSTOS DE BORRACHA PARA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE FUMOS

EVALUATION OF THE PROPERTIES OF OILS USED IN RUBBER COMPOUNDS PRODUCTION FOR REDUCING FUME EMISSIONS

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS ACEITES UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE COMPUESTOS DE CAUCHO PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE HUMO

Juan Pereira Almeida Batista<sup>1</sup>

Mateus Ferreira de Jesus<sup>2</sup>

Marcelo Sol Posto dos Santos<sup>3</sup>

Fabício Bruno Mendes<sup>4</sup>

**RESUMO:** A emissão de vapores inflamáveis derivados dos aditivos a base de óleo são um risco recorrente no processo de produção produtos de borracha. Somado a este fato, há ainda o risco atrelado à saúde do trabalhador do setor. No entanto, alguns óleos podem ser alternativas de substituição uma vez avaliadas suas propriedades e mantida a qualidade do produto. Neste estudo foi avaliada a alteração do ponto de fulgor do óleo de processo utilizado na produção de compostos de borracha na Titan Pneus do Brasil, buscando reduzir emissões de fumos e aprimorar a segurança ocupacional e a performance do processo. Foram analisados dois óleos de diferentes pontos de fulgor. O estudo incluiu a caracterização dos óleos, fabricação dos compostos com ambos os óleos e testes para avaliação das propriedades físicas e reológicas. Os resultados demonstraram que a mudança para um óleo com ponto de fulgor mais elevado aumentou a segurança do processo, reduzindo o risco de ignição de vapores sem comprometer as propriedades do composto, mantendo-se dentro dos padrões de qualidade exigidos. Entretanto, apesar de não ter sido observada a redução de emissões de fumos esperada, as emissões se mantiveram dentro dos limites de segurança estabelecidos por normas internacionais.

2339

**Palavras-chave:** Óleos de processo. Ponto de fulgor. Redução de emissões.

**ABSTRACT:** The emission of flammable vapors derived from oil-based additives is a recurring risk in the production of rubber products. In addition, there is also the risk related to the health of workers. However, some oils can be replaced once their properties have been evaluated and the quality of the final product has been maintained. In this study, we evaluated the change in the flash point of the process oil applied in the rubber production at Titan Pneus do Brasil, seeking to reduce smoke emissions as well as improving occupational safety and process performance. Two oils of different flash points were analyzed. The study included oil characterization, manufacture of compounds using the two options of oils, testing to evaluate physical and rheological properties. The results showed that switching to oil with a higher flash point increased process safety, reducing the risk of vapor ignition without compromising the properties of the final compound, while remaining within the required quality standards. However, although the expected reduction in smoke emissions was not observed, emissions remained within the safety limits established by international occupational exposure standards.

**Keywords:** Process Oils. Flash point. Emission reduction.

<sup>1</sup> Discente do curso de Química Industrial. (Analista de Qualidade da Titan Pneus do Brasil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) - Campus Suzano.

<sup>2</sup> Discente do curso de Química Industrial. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) - Campus Suzano.

<sup>3</sup> Engenheiro Químico - Coordenador. Engenheiro de Materiais da Titan Pneus do Brasil. Faculdade de São Bernardo do Campo (FASB).

<sup>4</sup> Doutor em Bioenergia - Docente no IFSP do curso Bacharelado em Química Industrial e Licenciatura em Química - Orientador. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Função acadêmica: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) - Campus Suzano.

**RESUMEN:** La emisión de vapores inflamables derivados de aditivos a base de aceite representa un riesgo en la producción de compuestos de caucho, afectando tanto la seguridad del proceso como la salud de los trabajadores. Sin embargo, estos riesgos pueden reducirse al reemplazar ciertos aceites, siempre que sus propiedades sean evaluadas y la calidad del producto final se mantenga. Este estudio investigó el cambio en el punto de inflamación del aceite de proceso utilizado en la producción de caucho en Titan Pneus do Brasil. El objetivo fue reducir emisiones de humo, mejorar la seguridad ocupacional y optimizar el proceso. Se analizaron dos aceites con diferentes puntos de inflamación. La investigación incluyó la caracterización de los aceites, la fabricación de compuestos con ambas opciones y pruebas para evaluar propiedades físicas y reológicas. Los resultados mostraron que el uso de un aceite con mayor punto de inflamación aumentó la seguridad del proceso, reduciendo el riesgo de ignición de vapores sin comprometer la calidad del compuesto final. Aunque la esperada reducción en las emisiones de humo no fue significativa, estas permanecieron dentro de los límites aceptables establecidos por estándares internacionales de exposición laboral.

**Palabras clave:** Aceites de proceso. Punto de inflamabilidad. Reducción de emisiones.

## INTRODUÇÃO

O processo de produção de compostos de borracha envolve uma série de etapas que exigem o uso de aditivos, como os óleos de processo, que desempenham um importante papel na modificação das propriedades mecânicas e químicas dos compostos (MONTEIRO, R. 2017; RODGERS e WADDELL, 2013).

Os óleos de processo são substâncias derivadas do petróleo que atuam como plastificantes, melhorando a flexibilidade, a elasticidade e a processabilidade dos compostos de borracha, facilitando a utilização durante as fases de mistura e moldagem. Além disso, eles auxiliam na dispersão de outros ingredientes, como os enchedores e os agentes de vulcanização, e influenciam diretamente as propriedades finais do material, como a dureza, a resistência ao desgaste e à temperatura (RODGERS e WADDELL, 2013).

De acordo com RODGERS e WADDELL (2013) a escolha e o uso desses óleos podem influenciar significativamente o comportamento do composto durante sua manipulação e no processo de vulcanização. Um dos fatores críticos para o controle da segurança e da qualidade desse processo é o ponto de fulgor do óleo utilizado, de acordo com LONG e BACHMANN (2010) uma vez que está diretamente relacionado à emissão de fumos e substâncias voláteis que impactam o ambiente de trabalho e a eficiência produtiva. O ponto de fulgor é a menor temperatura na qual o óleo libera vapores inflamáveis, e quanto menor esse ponto, maior a probabilidade de emissões indesejadas e de riscos à saúde e segurança dos trabalhadores.

O controle de emissões na indústria, especialmente na produção de borracha, é de suma importância por diversos motivos. Do ponto de vista ambiental, as emissões atmosféricas principalmente nos processos de mistura e vulcanização dos produtos de borracha podem conter

substâncias tóxicas e poluentes, que contribuem para a degradação da qualidade do ar e afetam o meio ambiente local (HUANG, H., et al., 2022; HAMID, A., et al., 2016). De acordo com os estudos de TYROLER, et al., (1976) e o reporte de TOMASI, et al., (2019) em termos de saúde ocupacional, a exposição contínua a vapores e fumos pode causar sérios problemas respiratórios e outras complicações de saúde aos trabalhadores, tornando o ambiente de trabalho potencialmente perigoso. Além disso, as emissões excessivas também podem afetar a eficiência produtiva, já que grandes volumes de fumaça podem prejudicar o processo de fabricação, aumentando a necessidade de ventilação forçada e sistemas de exaustão, elevando assim os custos operacionais.

O presente estudo foi desenvolvido na Titan Pneus do Brasil (Titan), uma das principais fabricantes de pneus no País. A empresa, comprometida com a melhoria contínua de seus processos e com a redução dos impactos ambientais e ocupacionais, identificou a necessidade de revisar e aprimorar o óleo de processo utilizado na formulação de seus compostos. A emissão de fumos durante a produção acarreta desafios não apenas na conformidade com regulamentações de saúde e segurança, mas também no controle de qualidade e no aumento de custos operacionais devido à necessidade de investimento em sistemas de ventilação, exaustão e lavagem de gases.

2341

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a alteração do ponto de fulgor do óleo de processo na produção de compostos de borracha, visando à redução da geração de fumos e ao aprimoramento das condições de trabalho na fábrica da Titan sem perda de performance nas propriedades dos compostos produzidos. Através de uma análise experimental, buscou-se avaliar os impactos dessa alteração sobre as características do composto, o controle de emissões atmosféricas e os benefícios relacionados à saúde ocupacional. O estudo, além de contribuir para a melhoria do processo produtivo da empresa, também poderá servir de referência para o setor industrial, no que tange à adoção de práticas mais sustentáveis e seguras.

## MÉTODOS

Foi conduzido um estudo experimental, baseado na comparação entre compostos de borracha fabricados com diferentes tipos de óleos de processo, variando o ponto de fulgor.

O estudo foi dividido em três fases principais: a primeira consistiu na seleção e caracterização dos óleos de processo a serem testados; a segunda, na fabricação dos compostos de borracha com esses óleos; e a terceira, na avaliação dos resultados, por meio da análise da

emissão de fumos durante o processo produtivo e da caracterização reológica e físico-química dos compostos de borracha obtidos e da análise das propriedades físicas do óleo de processo.

### **Seleção e Caracterização dos Óleos de Processo**

Inicialmente, foram selecionados dois óleos de processo com diferentes pontos de fulgor: um óleo com ponto de fulgor de  $160^{\circ}\text{C}$ , utilizado efetivamente no processo produtivo da Titan Pneus do Brasil, o qual foi denominado como “Óleo 1”, e o óleo alternativo com ponto de fulgor elevado, proposto como substituto, que foi denominado como “Óleo 2”. Esses óleos foram submetidos a análises laboratoriais para confirmar suas propriedades físico-químicas, tendo como foco a análise do ponto de fulgor conforme norma técnica ASTM D92 estabelecida pela American Society for Testing and Materials (ASTM). Para que o óleo alternativo alcançasse o ponto de fulgor desejado de  $180^{\circ}\text{C}$ , sendo ele baseado na formulação do Óleo 1, foi necessário realizar modificações em sua composição carbônica, viscosidade e ponto de anilina.

Por meio de um testador de ponto de fulgor de copo aberto por método de Cleveland, conforme ASTM D92 da marca Quimis, foram obtidos os resultados feitos em triplicata de ponto de fulgor dos óleos.

Também foram obtidos os dados de: Cor (ASTM D1500); Densidade  $20/4^{\circ}\text{C}$  (ASTM D4052); Viscosidade (ASTM D445); Índice de refração à  $20^{\circ}\text{C}$  (ASTM D1218); Composição carbônica (ASTM D3238); Teor de água (ASTM D6304); Ponto de anilina (ASTM D611); Índice de neutralização (ASTM D664); Ponto de fluidez (ASTM D4294) e notou-se diferenças significativas na distribuição carbônica, ponto de anilina e viscosidade. Entretanto, os resultados detalhados desses testes, devido a segredo industrial, não podem ser divulgados na íntegra.

2342

### **Mistura dos compostos de borracha**

Os compostos de borracha foram formulados utilizando os óleos de processo previamente caracterizados. O processo de mistura foi realizado em um dos misturadores internos utilizados na linha de produção da fábrica. Foram seguidos os mesmos parâmetros operacionais usados no processo industrial da empresa, garantindo a comparabilidade entre os resultados sem interferências de alteração do ambiente ou maquinário de testes. Para cada óleo de processo, foram produzidos lotes de compostos com formulações idênticas, exceto pela variação do tipo de óleo, a fim de avaliar o impacto isolado da alteração do ponto de fulgor.

## **Avaliação das propriedades reológicas e físicas dos compostos**

Após a fabricação, amostras significativas dos compostos de borracha foram submetidas a testes mecânicos e reométricos para avaliar se as propriedades do material, como reometria, viscosidade, tempo de queima, dureza, resistência a tração, fluidez, flexão, resiliência e resistência ao desgaste, mantiveram-se dentro dos padrões de qualidade exigidos. Todos os testes foram realizados seguindo normas técnicas da ASTM da indústria de borracha, garantindo a reprodutibilidade e a validade dos resultados.

As propriedades de vulcanização do composto borracha foram analisadas a 160° C conforme ASTM D2084 que determina os parâmetros reométricos para vulcanização em reômetros de disco oscilante, foram usados reômetros modelo MDR 2000, do ano 2006 da Alpha Technologies de modo a obter os resultados de mínimo torque (Mín. Tq.), tempo de vulcanização a 25% da vulcanização (T<sub>25</sub>), tempo ótimo de vulcanização (T<sub>90</sub>) e delta torque (Delta Tq.).

Os resultados de resistência a tração foram obtidos conforme ASTM D412 em um sistema universal de ensaio modelo 34TM-30-AS, do ano 2023 da Instron em que foram obtidos os resultados de alongamento (%), módulo a 300% e ruptura (MPa).

Os resultados de dureza Shore A foram obtidos conforme ASTM D2240 utilizando-se um durômetro Shore A digital modelo HPE III Series, do ano 2022 da Bareiss. 2343

Os resultados de viscosidade Mooney (MV) foram obtidos conforme ASTM D1646 utilizando-se um viscosímetro modelo MV 2000 da Alpha Technologies.

Os resultados de pré-vulcanização foram obtidos conforme ASTM D1646 em viscosímetro Mooney modelo MV 2000 da Alpha Technologies utilizando-se de um rotor Mooney large para se obter o tempo de ensaio decorrido até que a viscosidade suba até 5 unidades de viscosidade Mooney (T<sub>5</sub>).

Os resultados de densidade foram obtidos usando o aparato de determinação de densidade sólido e líquido modelo da RadWag, conforme ASTM D792.

## **Avaliação da formação de fumos**

Durante o processo de mistura, foi realizada a amostragem das emissões de fumos através de bombas de aspiração e amostradores específicos acoplados no ambiente de produção, com leituras que duraram 4 horas na produção dos compostos utilizando o Óleo 1 e paralelamente utilizando o Óleo 2, monitorando os fumos liberados para análise em laboratório,

a fim de quantificar os particulados dos fumos gerados. Os parâmetros de limites de exposição seguidos foram os da Health and Safety Executive (HSE) - EH40/2005 *Workplace Exposure Limits* (Second Edition, Published 2011) do Reino Unido e segundo a norma regulamentadora Nº 15 (NR 15) que define parâmetros de tolerância para exposições pessoais segundo o anexo II da mesma norma.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após realizar as análises nos óleos e nos compostos de borracha produzidos com o Óleo 1 e com o Óleo 2, foram obtidos os resultados descritos na tabela 1:

### Análises físico-químicas do óleo de processo

Tabela 1 - Ponto de fulgor dos óleos de processo conforme ASTM D92

Óleo de processo	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	Desvio Padrão
Óleo 1 (160°C)	162,70	166,80	165,30	164,93	2,07
Óleo 2 (180°C)	185,10	182,20	184,60	183,97	1,55

2344

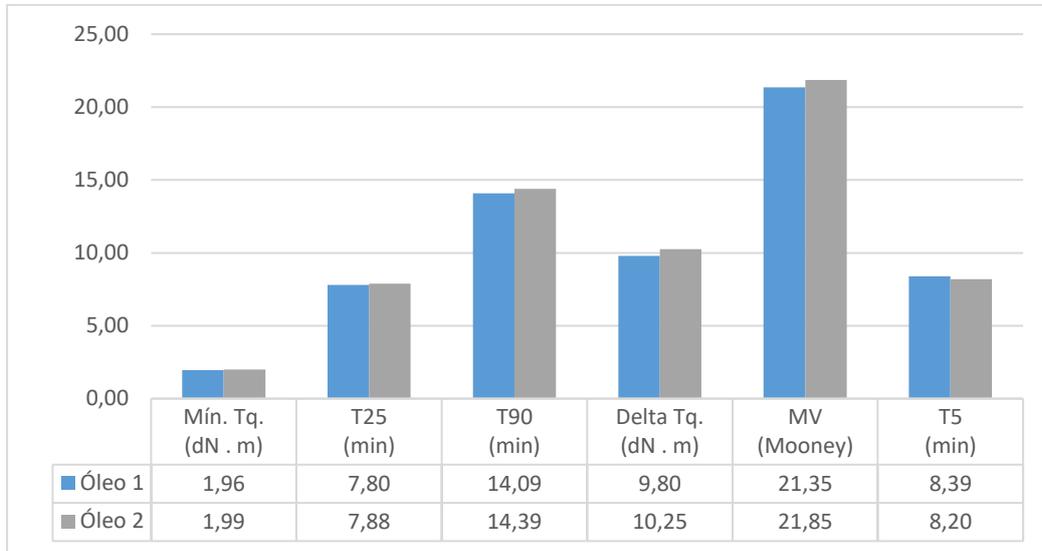
Fonte: Elaboração própria

Foi obtido com êxito um óleo com o ponto de fulgor na temperatura estabelecida no início do projeto. Esse resultado é relevante para a segurança do processo, uma vez que, conforme a definição da CETESB (2024), o ponto de fulgor é "a menor temperatura na qual uma substância libera vapores em quantidades suficientes para que a mistura de vapor e ar logo acima de sua superfície propague uma chama, a partir do contato com uma fonte de ignição.". Assim, considerando as temperaturas usuais do processo, a elevação do ponto de fulgor representa um ganho adicional em segurança.

### Análise das propriedades dos compostos de borracha

Os resultados reométricos, de viscosidade e de pré-vulcanização dos compostos comparando a performance dos dois óleos são apresentados na Figura 1:

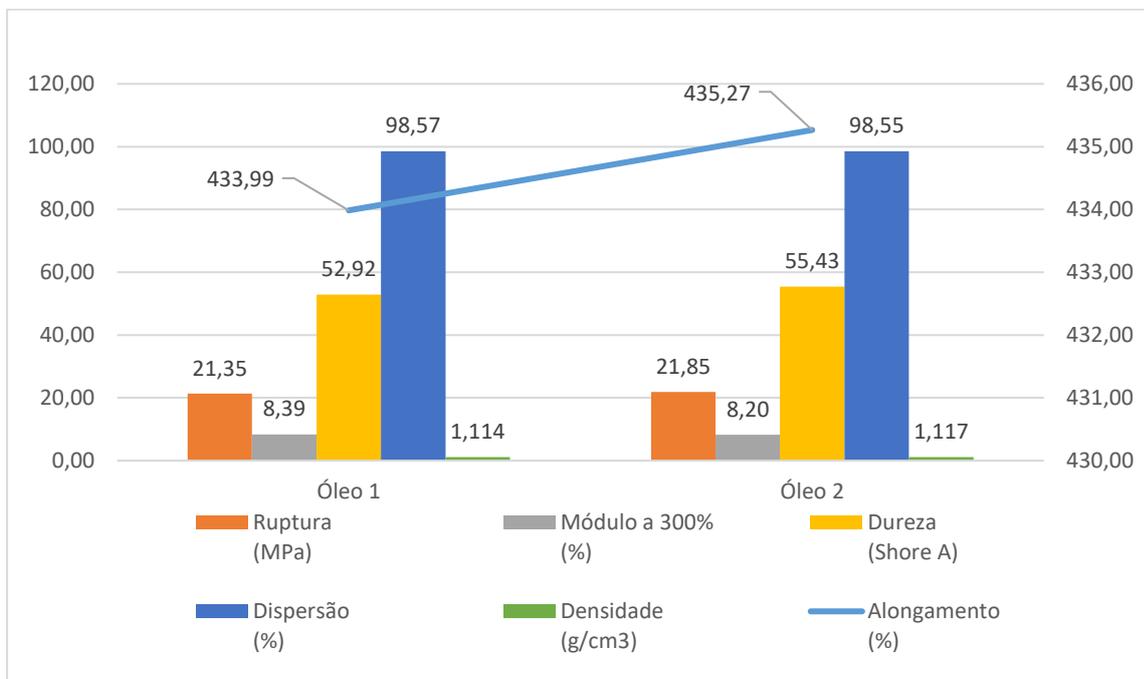
**Figura 1 - Resultados comparativos reométricos, de viscosidade e de pré-vulcanização**



Fonte: Elaboração própria

Enquanto as propriedades físicas de resistência a tração, densidade, dispersão e dureza são apresentados na Figura 2:

**Figura 2 - Resultados de resistência à tração, dureza, dispersão e densidade**



Fonte: Elaboração própria

Ao comparar os resultados dos compostos produzidos com o Óleo 1 e o Óleo 2, observa-se que as propriedades analisadas permaneceram estáveis, sem variações significativas, mesmo com as diferenças de composição e características físico-químicas dos óleos. Esses resultados indicam que a alteração no tipo de óleo de processo não compromete a performance do produto final, mantendo as propriedades essenciais dos compostos de borracha inalteradas.

### Análise da emissão de fumos

Quanto a análise de emissão de fumos realizada os dados se apresentam na tabela 2:

**Tabela 2** - Resultado da análise de emissão de fumos

Óleo de processo	Quantidade de material particulado <sup>1</sup> (mg/m <sup>3</sup> )	Limites HSE (mg/m <sup>3</sup> )	Limites NR 15
Óleo 1	0,935	6	N. A <sup>2</sup>
Óleo 2	1,042	6	N. A <sup>2</sup>

Nota 1: O filtro utilizado no amostrador possuía uma porosidade de 1,0 $\mu$ m;

Nota 2: A Norma Reguladora nº 15 não possui limites estabelecidos para a emissão de particulados, por isso foi utilizado o termo Não Aplicado (N.A).

**Fonte:** Elaboração própria

Os resultados das análises de emissão de fumos indicaram um aumento de 11,44% na quantidade de material particulado. Esse aumento, entretanto, é considerado dentro das variações normais do processo, dado que o coeficiente de variação do processo é de 27,25%, segundo os resultados das análises de emissões realizadas nos anos de 2023 e 2024, não sendo, portanto, significativo. Em relação à conformidade com a NR 15, observou-se que essa norma não especifica limites para os níveis de emissão de fumos na indústria de borracha, o que inviabiliza uma avaliação conclusiva de segurança com base na legislação nacional.

Como alternativa, adotaram-se os limites de exposição ocupacional definidos pelo HSE, que estabelece parâmetros para fumos na indústria de borracha. Os níveis de emissão obtidos mantiveram-se abaixo dos valores que representariam um risco significativo à saúde dos trabalhadores, de acordo com essa referência internacional.

Por outro lado, os resultados não atenderam plenamente ao objetivo inicial do projeto, que era também a redução expressiva dos valores de particulados emitidos no processo.

Adicionalmente, observou-se durante o projeto uma redução na formação de névoas e neblinas durante a produção, conforme relato dos colaboradores da planta. Esse fato tem

impacto positivo, pois conforme afirma LONG e BACHMANN (2010) pode indicar uma redução da emissão de compostos voláteis.

## CONCLUSÃO

Portanto, foram observados os seguintes resultados:

- Houve um aumento na emissão de fumos de 11,44%, o que não corresponde ao objetivo inicial do projeto. No entanto, esse aumento está dentro da variação normal do processo e atende aos limites de segurança definidos pelo HSE, sem representar riscos aos trabalhadores.
- Obteve-se uma efetiva alteração no ponto de fulgor do óleo de processo, o que resultou em maior segurança e estabilidade térmica, conforme indicado pela CETESB (2024).
- As propriedades dos compostos, conforme ensaios realizados, se mantiveram sem alterações significativas, garantindo a qualidade e a performance do produto final.
- Observou-se uma redução de custo de aproximadamente 5%, devido ao menor custo unitário do Óleo 2 em comparação com o Óleo 1, desse modo gerando economia para o processo. Com base nesses resultados, recomenda-se que a Titan continue monitorando as emissões de fumos e realize novos ajustes no processo sempre que necessário. Sugere-se, ainda, que estudos futuros investiguem a possibilidade de elevar a temperatura do ponto de fulgor do óleo de processo e de modificar outras propriedades, como a composição carbônica, para maximizar a redução de emissões. Adicionalmente, recomenda-se avaliar e caracterizar a emissão de outros compostos orgânicos voláteis presentes no processo, e se estão de acordo com os limites estabelecidos pelas normas reguladoras.

Incentiva-se a Titan a manter e fortalecer suas práticas voltadas para uma produção mais segura e sustentável ao longo da cadeia produtiva. Espera-se, também, que este estudo possa servir de base para aprimoramentos semelhantes em outras empresas do setor de produtos de borracha.

## REFERÊNCIAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration. 2018.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale). 2017.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for Calculation of Carbon Distribution and Structural Group Analysis of Petroleum Oils by the n-d-M Method.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter. 2022.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration. 2020.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. 2018.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity). 2024.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for Refractive Index and Refractive Dispersion of Hydrocarbon Liquids. 2012.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for Rubber Property Vulcanization Using Oscillating Disk Cure Meter. 2019.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for Rubber Property Durometer Hardness. 2021.

2348

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for Sulfur in Petroleum and Petroleum Products by Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry. 2021.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Methods for Aniline Point and Mixed Aniline Point of Petroleum Products and Hydrocarbon Solvents. 2023.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. 2020.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Methods for Rubber Viscosity, Stress Relaxation, and Pre-Vulcanization Characteristics (Mooney Viscometer). 2019.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers Tension. 2021.

CETESB. **Líquidos inflamáveis | Emergências Químicas**. cetesb.sp.gov.br. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/aspectos-gerais/perigos-associados-as-substancias-quimicas/liquidos-inflamaveis/>>. Acesso em: 10 nov. 2024.

GREAT BRITAIN. HEALTH AND SAFETY COMMISSION. **EH40/2005 Workplace Exposure Limits : Containing the List of Workplace Exposure Limits for Use with the Control of Substances Hazardous to Health Regulations (as amended)**. Norwich: Hse Books, 2011.

HAMID, A. *et al.* Environmental Profile of a Rubber Industry. **Nature Environment and Pollution Technology**, v. 15, n. 3, p. 957-961, 2016.

HUANG, H., *et al.* Volatile Organic Compounds Emission in the Rubber Products Manufacturing Processes. **Environmental Research**, v. 212, n. 0013-9351, p. 113485, 2022.

LONG, J. M.; BACHMANN, J. H. Chapter 18 — Petroleum Oils for Rubber. *In: Significance of Tests for Petroleum Products*. Newburyport, MA: ASTM International, 2010, p. 224-228.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 15 – Atividades e Operações Insalubres**. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-15-atualizada-2022.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2024.

MONTEIRO, Romão. **Mapeamento, Otimização e Melhoria do processo de industrialização de diafragmas**. 2017. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/10216/107949>>. Acesso em: 22 set. 2024.

RODGERS, B.; WADDELL, W. Chapter 9 - the Science of Rubber Compounding. *In: MARK, James E; ERMAN, Burak ; C. MICHAEL ROLAND (Orgs.)*. **The Science and Technology of Rubber**. Fourth Edition. [s.l.]: Academic Press, 2013, p. 417-471.

2349

SEQUEIRA, M. **Caracterização Reológica De Compostos De Borracha No Processo De Extrusão Por DMA (Dynamic Mechanical Analysis)**. 2017. D

TOMASI, S; PARK, Ju-Hyeong; NETT, Randall; *et al.* **Evaluation of Exposures and Respiratory Health at a Rubber Manufacturing Facility**. [s.l.]: Centers for Disease Control and Prevention, 2019. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2016-0227-3364.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2024.

TYROLER, H., *et al.* Chronic Diseases in the Rubber Industry. **Environmental Health Perspectives**, v. 17, p. 13-20, 1976. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1475252/pdf/envhper00492-0017.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2024.