

Estudo da Estabilidade Térmica de Pneumáticos através da TG, DTG e DSC.

Yanne Fernandes Maia* (Graduanda em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-árido,
Caraúbas, RN.);

Antônio Alex de Lima Silva (Mestrando em Ciências Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do
Norte, Mossoró, RN.);

Luiz Di Souza (Docente do curso de Química, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró,
RN.);

Ana Cláudia de Melo Caldas Batista (Docente do curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Caraúbas, RN.);

Daniel Freitas Freire Martins (Docente do curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do
Semi-árido, Caraúbas, RN.).

*E-mail: yannefernandes@hotmail.com

Resumo:

A degradação térmica ocorrida em pneumáticos seja por queimadas ou quando expostos à temperaturas ambientes elevadas, ocasiona prejuízos à saúde da população e ao meio ambiente pelas emissões liberadas. Neste trabalho foi estudada a estabilidade térmica de pneumáticos através da Termogravimetria (TG), Termogravimetria Derivada (DTG) e Termogravimetria Exploratória Diferencial (DSC). As análises termoanalíticas foram realizadas em amostras do pó da banda de rodagem de pneus de duas marcas comercializadas no Rio Grande do Norte. Inicialmente, foram utilizadas amostras em condições naturais da mesma forma que foram fornecidas pelos fabricantes. Em seguida, antes da realização das análises termoanalíticas, as amostras foram submetidas ao aquecimento durante 4 horas em duas diferentes temperaturas, 40°C e 60°C, com o intuito de verificar possíveis modificações nos comportamentos térmicos após submetidos a um aquecimento sob temperatura constante, simulando as condições de uso do material. Através das análises, foram observados eventos correspondentes a perda de massa das amostras, onde essa perda é atribuída a materiais como óleo, aditivos orgânicos, borracha natural (NR), borracha de butadieno estireno (SBR), entre outros elastômeros presentes em sua composição. Através dos resultados constatou-se que o primeiro fabricante obteve resultados satisfatórios, apresentando resistência as temperaturas que foram submetidas antes das análises. Também foi observado que a banda de rodagem pertencente ao segundo fabricante é composta por aditivos que são sensíveis as temperaturas 40°C e 60°, que utilizado em regiões mais quentes como Norte e Nordeste, provavelmente, ocorrerá um desgaste precoce do pneu, contribuindo para o crescimento do acúmulo de pneus inservíveis em aterros, também favorecendo ao aparecimento de doenças, alagamentos, queima imprópria gerando gases prejudiciais à saúde da população em geral.

Palavras-chave:

Análise térmica; Pneumáticos; Banda de rodagem; Degradação térmica; Estabilidade térmica.

1. INTRODUÇÃO

Polímeros (do grego, *poli* = muitas e *meros* = partes) são compostos de várias macromoléculas, que se originam da associação de moléculas pequenas e que podem conter centenas ou milhares de átomos, na qual a reação responsável pela sua formação é chamada de polimerização (DE PAOLI, 2008).

Na indústria automobilística, os polímeros vêm ganhando a cada dia mais espaço, por deixar o veículo mais leve e assim mais econômico. Os polímeros se encontram no para-choques, teto, cintos de segurança, *air bags*, tapetes, lanternas, filtros de ar, acabamentos laterais, nos estofados, pneus, entre outros. Os pneus, por exemplo, são fabricados a partir de dois tipos de polímeros: o seu interior é constituído pelo Poliisobutileno e a sua banda de rodagem é composta pelo Poli(Estireno-Butadieno-Estireno). Graças ao avanço da tecnologia este último item foi bastante beneficiado, pois atualmente eles são fabricados sem câmara, o que permite o esvaziamento lento do pneu, ajudando muitas vezes a chegada à tempo em uma oficina. Além disso, o progresso não pára nas formulações da borracha sintética e a natural que fazem parte da constituição do pneu (NETO, 2012).

Atualmente, existe uma grande preocupação ambiental no setor da indústria automobilística relacionada no que se diz respeito à degradação da borracha sintética que faz parte de um dos grupos de polímeros chamados de elastômeros. Os elastômeros do butadieno mais utilizados no comércio são o copolímero de butadieno-estireno (SBR), polibutadieno com alto teor de unidades 1,4-*cis* (BR- alto *cis*) e o copolímero butadieno-acrilonitrila (NBR). Dentre esses o mais importante é o SBR, o elastômero sintético mais utilizado mundialmente, principalmente em pneus (TATE, 1986). Além da borracha sintética, os pneus têm em sua composição a borracha natural, enxofre, negro fumo, óleo, óxido de zinco, ácido esteárico, etc. (MONTEIRO et al., 2011).

Fatores químicos e físicos podem influenciar a resistência térmica dos materiais poliméricos. Os fatores químicos estão relacionados as forças de ligação primária, secundária ou de Van Der Waals e ligações de hidrogênio; mecanismo de clivagem da ligação; regularidade da estrutura intramolecular e grau de ligações cruzadas. Já os físicos estão relacionados a massa molar e distribuição de massa molar; cristalinidade; efeito dipolar e pureza (LUCAS; SOARES; MONTEIRO, 2001).

Cerca de 2 milhões de pneus novos são fabricados diariamente em todo o mundo, de acordo com instituições internacionais. Cerca de 800 milhões de unidades são descartados anualmente. 40 milhões de pneus são produzidos por ano no nosso país e cerca da metade dessa produção é descartada nesse período (Ambiente Brasil, 2014). A instalação de grandes depósitos de pneus inservíveis, que ocupam vastas áreas e ficam expostos à queima acidental ou provocada, causam prejuízos à qualidade do ar, devido à sua composição liberar substâncias tóxicas quando exposto a altas temperaturas.

Por apresentar uma difícil decomposição, o destino final para os pneus ainda é um grande enigma. Com isso, é necessário o avanço na pesquisa de tratamento final desse material e novas tecnologias capazes de amplificar a sua durabilidade e/ou reutilização em geral.

Nos últimos anos estão sendo criadas várias formas de reaproveitamento de pneus, como: recapagem (substituição de sua banda de rodagem), recauchutagem (substituição de sua banda de rodagem e ombros), remoldagem (reutilização de pneus considerados reformáveis). Além disso, existem alguns processos de reciclagem, como a regeneração da borracha, uso da borracha como agregado para a pavimentação asfáltica, produção de óleo e gás através da pirólise, entre outros (ANDRADE, 2007).

Quando o pneu sofre degradação térmica em suas borrachas e seus aditivos, principalmente presente em sua banda de rodagem, seja por queimadas ou quando exposto à temperaturas ambientes um pouco altas, frequentemente causa prejuízos a saúde da população e ao meio ambiente. Durante essa degradação podem ser liberados gases: monóxido e dióxido de nitrogênio e enxofre, gás carbônico, metano, hidrocarbonetos, compostos orgânicos, entre outros. Esses gases, além de serem prejudiciais à saúde dos seres vivos, ocasionam mudanças climáticas (MENEZES, 2005).

Portanto, o objetivo desse trabalho foi analisar a estabilidade térmica do material polimérico utilizado na fabricação da banda de rodagem de pneus comercializados no Estado do Rio Grande do Norte através da Análise Termogravimétrica (TG), Termogravimetria Derivada (DTG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A seguir estão materiais utilizados neste trabalho experimental e a metodologia empregada para se avaliar a estabilidade térmica de pneumáticos através da TG, DTG e DSC.

2.1. Materiais

As análises termooanalíticas foram realizadas em amostras da banda de rodagem de pneus de duas marcas comercializadas no Rio Grande do Norte.

2.2. Preparação das amostras

Inicialmente, as amostras foram deixadas em formato de pó utilizando uma folha de Lixa ferro 221 T - 3M. Logo após, foram utilizadas amostras em condições naturais, da mesma forma que foram fornecidas pelos fabricantes. Em seguida, antes da realização das análises termooanalíticas, as amostras foram submetidas ao aquecimento durante 4 horas em duas diferentes temperaturas, 40°C e 60°C, com o intuito de verificar possíveis modificações nos comportamentos térmicos após submetidas a um aquecimento sob temperatura constante, simulando as condições de uso do material. A Tabela 1 especifica as amostras e seu respectivo tratamento antes da análise.

Tabela 1 – Identificação das amostras.

Amostras	Tratamento
AM1	Pó da banda de rodagem de pneu sem passar pelo processo de aquecimento.
AM1-40	Pó da banda de rodagem de pneu aquecida com uma temperatura de 40 °C durante 4 horas.
AM1-60	Pó da banda de rodagem de pneu aquecida com uma temperatura de 60 °C durante 4 horas.
AM2	Pó da banda de rodagem de pneu sem passar pelo processo de aquecimento.
AM2-40	Pó da banda de rodagem de pneu aquecida com uma temperatura de 40 °C durante 4 horas.
AM2-60	Pó da banda de rodagem de pneu aquecida com uma temperatura de 60 °C durante 4 horas.

Fonte: Os autores.

2.3. Equipamentos

Todos os equipamentos utilizados neste trabalho estão listados na Tabela 1, seguidos pela marca e modelo respectivamente.

Tabela 2 - Equipamentos utilizados nas análises.

Item	Equipamento	Marca/Modelo
1	Balança Analítica	Tecnal/Mark 210 ^a
2	Estufa com circulação forçada de ar	QUMIS/Q-314M243
3	Termobalança 600	TA Instruments/SDT
4	Termômetro de Infravermelho	INFRARED THERMOMETER/380-EN-01

Fonte: Os autores.

2.4. Análise Termogravimétrica (TG), Termogravimetria Derivada (DTG) e Análise por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As curvas termogravimétricas e as análises foram obtidas por meio de uma termobalança da TA Instruments, modelo SDT 600, em atmosfera de ar sintético, massa da amostra de aproximadamente 7,0 mg, com variação de temperatura de aproximadamente 30°C até 800°C, razão de aquecimento de 20°C min⁻¹ e uma vazão do gás de 20 mL min⁻¹. A DTG será obtida a partir do software do próprio equipamento através da 1ª derivada da curva termogravimétrica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Termogravimetria (TG) e a Termogravimetria Derivada (DTG), fornecem o estudo dos processos de decomposição térmica das amostras. As curvas de TG e DTG, podem ser visualizadas nos Gráfico 1 e Gráfico 2, respectivamente, e mostram os eventos de perdas de massa que ocorrem com as mudanças de temperatura nas seis amostras.

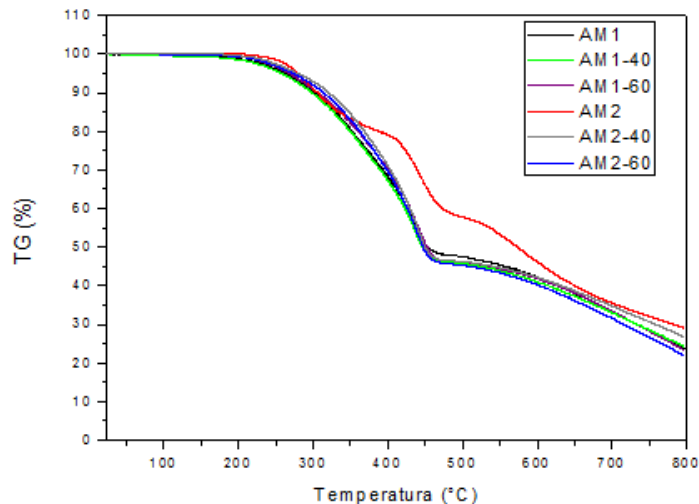


Gráfico 1 - Curvas da Termogravimetria (TG) mostrando o comportamento de todas as amostras.

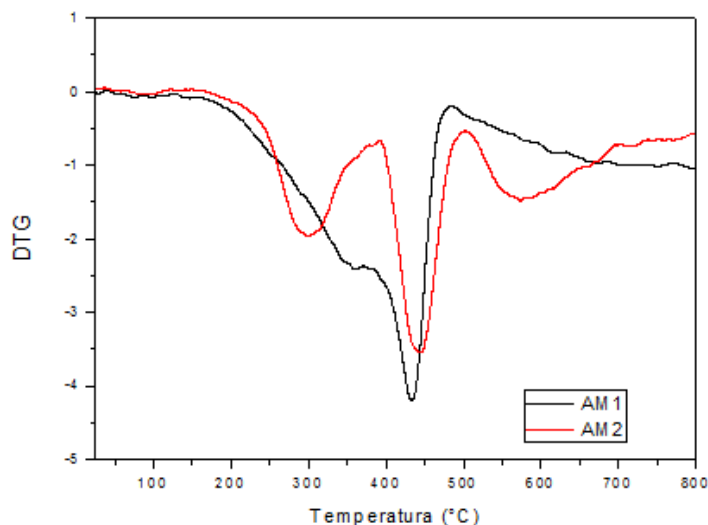


Gráfico 2 - Curvas da Termogravimetria Derivada (DTG) mostrando o comportamento das amostras AM1 e AM2.

A amostra AM1 apresentou dois eventos referentes a perda de massa. Pode-se observar um declínio onde se inicia em uma temperatura de 179,89°C, terminando em 380,90°C, com uma perda de massa em 51,78%. A perda de massa ocorrida em até 200°C pode ser atribuída a volatilização de plastificantes, óleos e aditivos com baixo ponto de ebulição, presentes na composição da banda de rodagem. Observa-se também um pico menos intenso em 360,80°C, onde pode ser atribuído a presença da borracha natural (NR), que apresenta uma temperatura de degradação que ocorre em ~365°C (SACHER et al., 1985). O segundo evento que acontece entre 380,90°C e 483,90°, sendo o pico em 433,50°C, com perda de massa de 28,30°C é atribuído a degradação do elastômeros BR e SBR (MENEZES, 2005).

Já a amostra AM2 apresentou um comportamento diferente das demais, onde houve 3 estágios referentes a perda de massa. O primeiro ocorre a partir de 180,56°C, apresentando um pico na faixa de 298,80°C, que corresponde, provavelmente, a volatilização de óleo, finalizando em 381,82°C, com uma perda de massa de 18,11%, referente a perda de óleo, degradações do polímero borracha natural (NR). O segundo evento acontece entre 381,82°C e 498,70°C, com a presença de um pico intenso em 439,68°C, perdendo 23,04% em massa, onde pode ser atribuído a degradação dos demais elastômeros presentes em sua composição como o SBR. De acordo com Menezes (2005) a degradação dos elastômeros ocorre na faixa de 350-500°C. Entre as faixas de 498,70-698,62°C ocorre mais um evento, com pico máximo em 587,40°C, responsável por aproximadamente 29,69% da perda de massa da amostra, que pode ser atribuída a decomposição térmica do polibutadieno, que é um dos principais componentes do pneu (DÍEZ, 2003).

Percebe-se no Gráfico 3 que as amostras AM1-40 e AM1-60, que passaram por aquecimento prévio de 40°C e 60°C, respectivamente, obtiveram resultados bem próximos da AM1, que pertence ao mesmo fabricante. Em ~181,73°C iniciou-se o primeiro evento das amostras, com máximo na faixa de ~375,50°C, onde ocorre a degradação de materiais como óleos e seus aditivos, assim como a degradação da borracha natural que como citado anteriormente, sua decomposição ocorre em média nessa temperatura. O primeiro ciclo termina em ~386,70°C e nessa mesma temperatura inicia o segundo e último ciclo, onde há a presença de pico máximo em ~434,90°C e finaliza em ~487,35°C, onde há uma perda de massa em média de ~29,70%, responsável pela degradações dos demais elastômeros. Percebe-se na Tabela 3 que a amostra AM1-40, obteve uma massa residual de 23,95% um pouco maior que as AM1 e AM1-60, o que provavelmente ocorreu alguma modificação química do material quando submetido a temperatura de 40°C durante 4 horas. Segundo Lagarinhos e Tenório (2008) massa residual pode está

relacionada a cinzas contendo resíduos de negro de fumo, além de metais pesados como cádmio, chumbo e zinco.

Os valores da massa residual para AM1, AM1-40 e AM1-60 foram bastante próximos, o que mostra que para esse pneumático não existe diferença significativa no seu comportamento térmico quando submetido a temperaturas mais elevadas, o que mostra uma boa estabilidade térmica.

Observe o Gráfico 3. Como se pode ver, as amostras AM2-40 e AM2-60 que também passaram por aquecimento de 40°C e 60°C, respectivamente, obtiveram dados semelhantes entre si, porém diferentes da AM2, pertencente ao mesmo fabricante. O início do primeiro e único ciclo da amostra começa em média em ~191,80°C, apresentando um pequeno ombro em ~369,30°C, com máxima em 435,00°C, ocorrendo a degradações dos elastômeros presentes, e finalizando em ~483,45°C, com uma perda atribuída em ~53,72%. Restando apenas em 26,81% e 21,85%, respectivamente, da composição dessas amostras.

Para AM2, AM2-40 e AM2-60, percebe-se que há um decréscimo significativo da massa residual do pneumático em estudo quando submetido a temperaturas de 40°C e 60°C por 4 horas, o que mostra que quanto maior a temperatura que esse pneumático for exposto, maior será o seu desgaste.

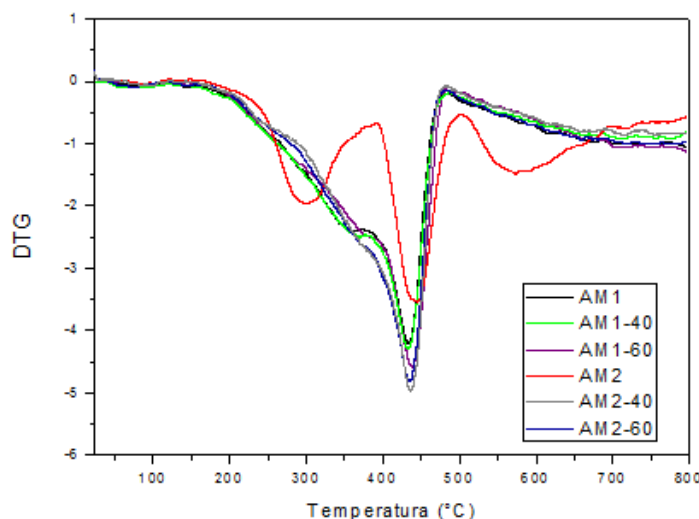


Gráfico 3 - Curvas da Termogravimetria Derivada (DTG) mostrando o comportamento de todas as amostras.

É perceptível a diferença dos resultados obtidos na amostra AM2 em relação as demais amostras. O que nos leva a afirmar que em sua composição contém aditivos que podem ser degradados em temperaturas entre 40°C e 60°C, facilitando assim o desgaste precoce do pneu. A Tabela 3 especifica a perda percentual de massa e o intervalo de temperatura para cada evento ocorrido nas amostras.

Percebe-se que a massa residual nas amostras AM1 e AM2 obtiveram valores relativamente distantes. Onde a AM2 obteve uma massa residual maior. Apresentando assim, um teor de compostos inorgânicos maior que a amostra AM1. Essa massa pode estar relacionada a resíduos de negro de fumo, que é utilizado na fabricação dos pneus para garantir o aumento da resistência mecânica dos mesmos (MENEZES, 2005).

Tabela 3 - Dados Termogravimétricos (TG/DTG).

Eventos	Propriedades	Amostras					
		AM1	AM1-40	AM1-60	AM2	AM2-40	AM2-60
I	Intervalo de temperatura (°C)	179,89-380,90	184,73-378,65	178,73-394,70	180,56-381,82	202,57-483,53	181,06-483,36
	Temperatura de pico (°C)	360,80	371,50	375,50	298,80	435,67	434,34
	Perda de massa (%)	51,78	53,25	53,82	18,11	53,40	54,05
II	Intervalo de temperatura (°C)	380,90-483,90	378,65-488,70	394,70-486,00	381,82-498,70	-	-
	Temperatura de pico (°C)	433,50	433,00	436,84	439,68	-	-
	Perda de massa (%)	28,30	29,08	30,32	23,04	-	-
III	Intervalo de temperatura (°C)	-	-	-	498,70-698,62	-	-
	Temperatura de pico (°C)	-	-	-	587,40	-	-
	Perda de massa (%)	-	-	-	29,69	-	-
	Massa residual (%)	23,56	23,95	23,15	29,00	26,81	21,85

Fonte: Os autores.

Através da Análise por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), foi possível observar em todas as amostras três eventos de transições térmicas.

Como pode-se observar na Gráfico 4 o primeiro evento de transição térmica inicia à temperaturas bem próximas em todas as amostras. A amostra AM1 em relação a AM2, apresentou valores mais elevados. Na amostra AM1, o primeiro evento ocorreu aproximadamente entre 31,84°C e 407,90°C, apresentando um pico exotérmico em 327,86°C. Já na AM2 o evento térmico ocorreu entre 25,87°C e 357,94°C, com máxima em 278,95°C. Segundo Arockiasamy et al., (2012), esse primeiro ciclo está relacionado com a degradação de produtos orgânicos altamente voláteis, com baixo ponto de ebulição (300°C) ou menos, como plastificantes, solventes, óleos, entre outros. Um dos resíduos liberados nessa faixa de temperatura é o alcatrão oleoso, onde em sua composição se encontra uma mistura de benzeno, tolueno, nafta, além de metais como o cádmio, níquel, zinco, entre outros (REIS; FERRÃO, 2000). Diante desses resultados, pode ser observado que na amostra AM2 pode haver uma maior quantidade desses aditivos que podem se decompor a temperaturas menores que a da amostra AM1.

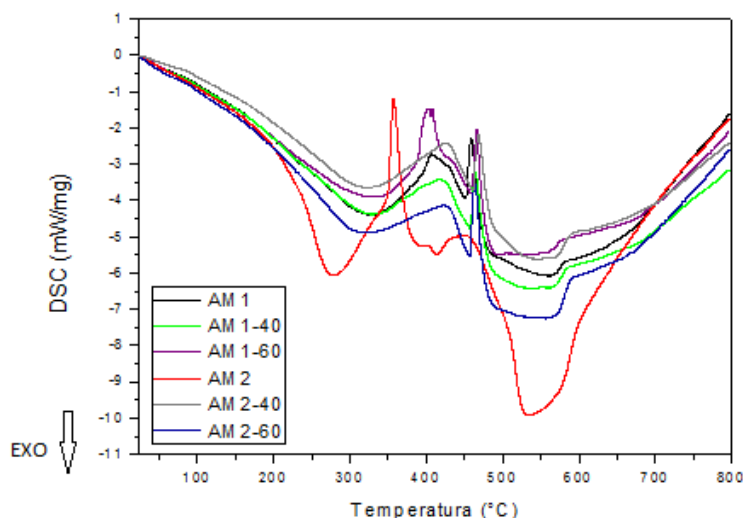


Gráfico 4 - Curvas da Termogravimetria Exploratória Diferencial mostrando o comportamento de todas as amostras.

O segundo ciclo de transição na amostra AM1 ocorre entre 407,90°C com máximo em 451,90°C e finaliza em 457,95°C. Já na amostra 4 a transição de energia ocorre entre 357,93°C e 450,60°C com a presença de um pico exotérmico em 413,01°C. Esses dois picos estão relacionados a decomposição do SBR. Segundo LAGARINHOS e TENÓRIO (2008), nessa transição de temperatura são liberados hidrocarbonetos gasosos (isopreno, butadieno, propano, etano, metano), os mesmos possuem de 1 a 5 átomos de carbono.

O último ciclo apresenta temperatura bem próximas de início e fim das amostras AM1 e AM2, que ocorre entre 457,95°C-795,99°C e 450°C-797,57°C, com picos exotérmicos em 564,01°C e 534,45°C, respectivamente. Esses picos estão relacionados a volatilização de carbono-base, que se refere a fontes de energia que não geram dióxido de carbono. Nessas temperaturas também podem ocorrer a evaporação ou volatilização de aditivos do negro de fumo. Pode ocorrer também reações de reduções, clivagem termoanalíticas de borracha. Essa região de temperatura também pode ocorrer a oxidação do negro de fumo, a temperatura acima de 670°C (AROCKIASAMY et al., 2012). O negro de fumo através de sua decomposição gera produtos perigosos: Monóxido de carbono, óxidos de enxofre, dióxido de carbono, que podem ser infiltrados através da inalação, pele e olhos (DIPA QUÍMICA, 2011).

A Tabela 4 mostra que as amostras AM1-40 e AM1-60, apresentaram valores bem próximos com a amostra AM1, o que significa que o aquecimento não influenciou nas transições de energias da amostra. Já as amostras AM2-40 e AM2-60, apresentaram durante os dois primeiros ciclos valores relativamente superiores aos da AM2, o que pode ter ocorrido a volatilização de aditivos orgânicos durante o aquecimento em 40° e 60°C, respectivamente. O último evento apresentou resultados semelhantes entre as três amostras.

Tabela 4 - Dados da análise por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).

Eventos	Propriedades	Amostras					
		AM1	AM1-40	AM1-60	AM2	AM2-40	AM2-60
I	Intervalo de temperatura (°C)	31,84-407,9	52,01-420,64	28,50-402,97	25,87-357,93	25,86-426,90	24,50-422,90
	Temperatura de pico (°C)	327,86	332,13	334,20	278,95	321,55	313,93
	Intervalo de temperatura (°C)	407,9-457,95	420,64-464,40	407,99-465,68	357,93-450,60	426,90-469,49	422,90-463,08
II	Temperatura de pico (°C)	451,94	458,20	456,23	413,01	461,86	456,85
	Intervalo de temperatura (°C)	457,95-795,99	464,40-796,50	465,68-797,74	450,60-797,57	469,49-797,74	463,08-798,78
III	Temperatura de pico (°C)	564,01	543,18	530,81	534,45	549,70	534,45

Fonte: Os autores.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nesse trabalho, foi observado através das curvas termogravimétricas (TG/DTG/DSC) da banda de rodagem pertencente ao primeiro fabricante, apresentou um bom comportamento quando foi exposta as temperaturas 40° e 60°C pois os resultados obtidos na amostra AM1, foram bastante próximos aos das amostras AM1-40 e AM1-60, o que mostra que durante os aquecimentos de 40°C e 60°C, sua composição se manteve resistente a essas temperaturas não perdendo suas propriedades, garantindo assim uma maior durabilidade em regiões mais quentes.

Além disso, foi observado através dos resultados que a composição da banda de rodagem do segundo fabricante contém aditivos que se decompõe em temperaturas consideradas ambiente nas regiões Norte e Nordeste, que podem atingir até mais que 40°C, o que consequentemente ocasionará o desgaste precoce do pneu, contribuindo assim para um maior acúmulo de pneus inservíveis, que geram doenças através de queimadas, alagamentos, entre outros.

STUDY OF THERMAL STABILITY OF TIRE THROUGH TG, DTG AND DSC

Abstract: The thermal degradation occurred in tires either by burning or when exposed to high ambient temperatures, causes harm to public health and the environment, by emissions released. This work presents a study about thermal stability of tires by Thermogravimetry (TG), Derivative Thermogravimetry (DTG) and Exploratory Differential Thermogravimetry (DSC). The thermoanalytical analyzes were performed on tire tread powder samples of two brands marketed in Rio Grande do Norte (Brazil). Initially samples were used in natural conditions of the same way as supplied by the manufacturers. Then, before performing thermoanalytical analysis, the samples were submitted to heating for 4 hours at two different temperatures, 40 °C and 60 °C, in order to evaluate possible changes in the thermal behavior after subjected to a heating under constant temperature by simulating the conditions of use of the material. Chemical analysis events were observed corresponding to loss of sample mass, where this loss is

attributed to materials such as oil, organic additives, natural rubber (NR), styrene-butadiene rubber (SBR), and other elastomers present in the composition. From the results it was found that the first manufacturer obtained satisfactory results, presenting resistance to temperatures which were subjected before analysis. It was also observed that the tire tread belonging to the second manufacturer comprises additives which temperatures are sensitive 40 °C and 60 °C that used in warmer regions such as North and Northeast will cause a premature wear of the tire, contributing to the growth of the accumulation of waste tires in landfills, also favoring the onset of diseases, flooding, improper burning generating gases harmful to the health of the general population.

Keywords: Thermal analysis; Tires; Tire tread; Thermal degradation; Thermal Stability.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBIENTE BRASIL. **Reciclagem de pneus**. 2014.
- ANDRADE, H. S. **Pneus inservíveis: alternativas possíveis de reutilização** - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- AROCKIASSAMY, A.; TOGHIANI, H.; OGLESBY, D. **TG-DSC-FTIR-MS study of gaseous compounds involved during thermal decomposition of styrene-butadiene rubber**. 2012.
- DE PAOLI, M. A. **Degradação e estabilização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2008. 286 p.
- DÍEZ, O.; MARTÍNEZ O.; CALVO, L.F.; CARA, A.; MÓRAN A. **Pyrolysis of tires. Influence of the final temperature of the process on emissions and the calorific value of the products recovered**. Waste Management, 19; 3-7, 2003.
- DISTRIBUIDORA INDUSTRIAL PARANAENSE LTDA. FISPQ – **Ficha de informação de segurança de produto químico**. Curitiba, 2011.
- LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. **Tecnologias utilizadas para a reutilização de reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil**. Polímeros: ciência e tecnologia, v.18, n2, 2008.
- LUCAS, E. F.; SOARES, B.G.; MONTEIRO, E. E. C. **Caracterização de polímeros**. Rio de Janeiro: e-papers, 2001.
- MENEZES, V.J. **Avaliação das emissões oriundas da degradação térmica de pneus**. 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de polímeros) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Macromoléculas, Professora Eloisa Mano, Rio de Janeiro. 2005.
- MONTEIRO, M. A.; MANTIOLI, L. M. L.; FERREIRA, H. F. **Plano de gerenciamento integrado de resíduos pneumáticos**. 2 ed. Belo Horizonte: Feam e FIP, 2011. 56 p.
- NETO, N. J. A. **A evolução dos polímeros na indústria automobilística** – Faculdade de tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, 2012.
- REIS, C.; FERRÃO, P. **Produção utilização e opções em fim de vida para pneus**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2000.
- SACHER, R. E.; MACOINE, D. P.; SINGLER, R. E. **Thermal analysis and characterization of elastomers and carbon black filler rubber composites for army applications**. Army materials and mechanics research center wateron, p. 4-85, 1985.
- TATE, D. P. **Butadiene Polymers**. In: Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. Mark; Bikales; Overberg; Menges. (ed.): John Wiley & Sons, 2, p. 537-579, 1986.