

## APLICAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS EM UNIDADES DE COPROCESSAMENTO

### APPLICATION OF INSERVABLE TIRES IN COPROCESSING UNITS

Fernanda Benato Mezzomo<sup>1</sup>, Janaína C. Ortiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Acadêmica da Universidade de Passo Fundo – UPF. E-mail: 143649@upf.br

<sup>2</sup>Professora da Universidade de Passo Fundo – UPF. E-mail: [jchaves@upf.br](mailto:jchaves@upf.br)

#### RESUMO

O presente estudo teve como objetivo principal realizar uma pesquisa de cunho bibliográfico à respeito de alternativas de processamento de transformação de pneus inservíveis, em função da composição dos mesmos. Os pneus inservíveis são considerados resíduos de difícil destinação final, pois são difíceis de serem compactados em aterros. Quando considerado seu alto poder calorífico, há a possibilidade de alimentar um sinistro no caso de incêndios e quando queimados liberam gases tóxicos que precipitam na forma de chuva ácida, o mesmo também pode servir como recipiente para o acúmulo de água, promovendo assim a proliferação de vetores transmissores de doenças. No presente trabalho apresenta-se uma breve discussão sobre o ciclo de vida dos pneus, possíveis danos ambientais por ele causados, seus efeitos deletérios a saúde e a obrigatoriedade da logística reversa estabelecida na legislação Brasileira. Sendo assim, em função da complexidade de destinação desse tipo de resíduos foi pesquisada a tecnologia de recuperação energética, coprocessamento. Nesse processo os resíduos sólidos de pneumáticos são aplicados como substitutos de combustível e matérias primas não renováveis (calcário, argila e minério de ferro) no processo de fabricação do clínquer em indústrias que produzem cimento devidamente licenciadas para este fim. Os dados obtidos com a realização dessa pesquisa são de que o coprocessamento está bem estruturado no âmbito de legislações, normas e portarias, as quais estabelecem os requisitos mínimos para que tal processo ocorra de forma segura e eficaz, oferecendo assim uma alternativa para a destinação final, definitiva e de baixo custo para pneus inservíveis.

**Palavras-chave:** Pneus inservíveis, reaproveitamento energético, coprocessamento

#### ABSTRACT

The main objective of the present study was to carry out a bibliographical research on alternatives for the processing of waste tires, as a function of their composition. Waste tires are considered to be hard to dispose of as they are difficult to compress into landfills. When considering its high calorific value, it is possible to feed a sinister in case of fires and when burned release toxic gases that precipitate in the form of acid rain, it can also serve as a reservoir for water accumulation, thus promoting the proliferation of Vectors transmitting diseases. This paper presents a brief discussion about tire life cycle, possible environmental damage caused by it, its deleterious effects on health and the obligation of reverse logistics established in Brazilian legislation. Therefore, due to the complexity of the destination of this type of waste, the energy recovery technology, coprocessing, was researched. In this process the solid wastes of tires are applied as substitutes for fuel and non-renewable raw materials (limestone, clay and iron ore) in the process of manufacturing clinker in industries that produce cement duly licensed for this purpose. The data obtained from this research are that the coprocessing is well structured within the scope of laws, regulations and ordinances, which establish the minimum requirements for such a process to occur safely and effectively, thus offering an alternative to the final destination, definitive and low cost for waste tires.

**Keywords:** Inservable tires, energy reuse, coprocessing

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Brasil (1988) Art. 225<sup>o</sup> da Constituição Federal Brasileira:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo para as presentes e futuras gerações (Brasil, 1998).

Devido ao desenvolvimento populacional, necessidade de locomoção, conforto, maior poder aquisitivo das famílias e a facilidade de aquisição de veículos automotores, tem-se como consequência um aumento na geração de resíduos de pneus inservíveis. É importante considerar que, em função dessa realidade, os resíduos de pneus acabaram se tornando uma preocupação, devido à possibilidade de causar danos ao meio ambiente e à saúde humana, o que, por vezes, dificulta a tomada de decisão relativa à destinação final adequada para esse resíduo (PARRA; NASCIMENTO; FERREIRA, 2010).

Nas atividades do cotidiano são gerados vários tipos de resíduos sólidos. Considera-se que há diversos tipos de materiais em que os produtos são acondicionados, tais como: plásticos, latas, papéis, vidros, borrachas, entre outros. Em função disso, há a necessidade de gerenciar esses de forma correta em função de que cada vez mais aumenta o consumo de diferentes produtos por parte da população (SAIANI; DOURADO; TONETO, 2014, p. XIX).

A crescente geração de resíduos deve provocar [*sic*] outras preocupações que não a mera coleta e correta destinação. As crescentes preocupações ambientais relacionadas ao consumo de recursos naturais e de energia devem levar a campanhas pela menor geração de resíduos e seu reaproveitamento, que pode se dar pelo uso de diferentes tecnologias de manejo – compostagem, recuperação e aproveitamento energético dos gases, entre outros. Para ampliar a reutilização dos materiais, a introdução de programas de coleta seletiva, a educação ambiental, a logística reversa, onde for possível, são temas de extrema relevância no contexto da busca de modelos para o desenvolvimento sustentável (SAIANI; DOURADO; TONETO, 2014, p. XX-XXI).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Resíduo Sólido

A Norma Brasileira (NBR) 10.004:2004, define que: os resíduos são aqueles que estão no estado sólido ou semissólido e que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços ou de varrição. Podem ser classificados como: classe I – Perigosos; classe II - Não perigosos; classe II A – Não Inertes e classe II B – Inertes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2004).

Em função dos ensaios de solubilização realizados com pneus, esses são classificados como Classe II A – não inertes, por apresentarem teores de íons de metais (zinco e manganês) superiores aos padrões estabelecidos pela NBR 10.004:2004 (BERTOLLO; JÚNIOR; SCHALCH, 2002).

### 2.2 Ciclo de Vida do Pneu

#### 2.2.1 Composição e produção do pneu

O pneu é constituído por uma combinação de borracha natural e sintética, e para conferir a propriedade de resistência mecânica é adicionado à mistura da borracha o produto conhecido como negro de fumo, bem como a durabilidade, pigmentação e desempenho. Na composição do produto, ainda é acrescentado o enxofre, compostos de zinco como aceleradores e outras substâncias que atuam como ativadores e antioxidantes. Já o fio de aço e o náilon são acrescentados para reforçar a carcaça do pneu (GALLE; LOPES; ARAÚJO; GRAMA, 2010).

A borracha natural é obtida através da coagulação do látex, um elastômero natural, oriundo das seringueiras. O polímero da borracha natural é o cis-1,4-poliisopreno, já a borracha sintética tem como base os polímeros butadieno e estireno, conforme a Figura 1. Ambas as borrachas tem alta elasticidade e, dessa maneira, retornam para sua forma original após sofrer alguma tensão (MENDA, 2012).

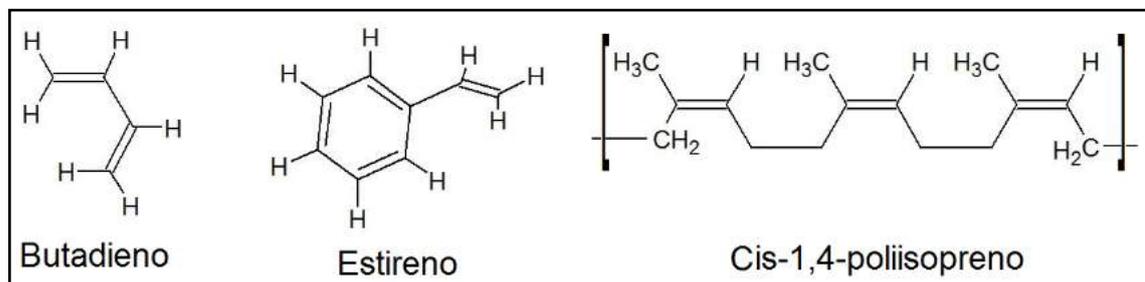


Figura 1: Representações das estruturas químicas da borracha natural e sintética.

De acordo com o Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES, 1998), o negro de fumo é originado através de partículas finamente divididas, resultantes do processo da pirólise, através da decomposição térmica de hidrocarbonetos líquidos ou gasosos. O negro de fumo não pode ser considerado fuligem, uma vez que apresenta concentrações desprezíveis de hidrocarbonetos aromáticos, que são carcinogênicos. Porém, como é constituído por partículas muito finas, há a necessidade de sistemas de controle das emissões atmosféricas, para não causar efeitos danosos ao meio ambiente decorrentes do material particulado gerado no processo.

O processo produtivo do pneu consiste em uma combinação da borracha natural, sintética e enxofre, que são vulcanizados por tempo, temperatura e pressão controlados para que o elastômero aumente sua rigidez. Esse aumento da rigidez se dá pelo fato do enxofre ligar as cadeias carbônicas umas nas outras, formando, assim, uma macromolécula. Logo após, negro de fumo, compostos de zinco como aceleradores, outros compostos ativadores e antioxidantes são enviados para o misturador. O processo de homogeneização é acompanhado por sistemas computacionais para garantir a uniformização das matérias primas e insumos. Em seguida, inicia-se a montagem do pneu sobre um tambor inflável, cujo revestimento é feito por um perfil interno - sendo esse uma borracha especial resistente - que evita a passagem de ar. Posteriormente, é acrescentado sobre o perfil interno, o tecido de náilon e a cinta - constituída desse tecido e aço - que conferem ao pneu força e flexibilidade. Na lateral, são implantados aros para formar o talão, com o objetivo de permitir melhor assentamento do pneu à roda. Dando prosseguimento, acrescenta-se mais um perfil, denominado flanco do pneu, no qual é injetado ar comprimido para as extremidades se aproximarem do tambor, dando uma forma sugestiva ao pneu. Na sequência, a banda de rodagem é colocada e o pneu é levado ao molde e a extrusora, saindo com o formato desejado e com as propriedades mecânicas previamente definidas. Todos os pneus são inspecionados por raios-X e alguns passam por cortes e testes das propriedades mecânicas, como tração e desgaste. Na Figura 2 está representada a estrutura de um pneu (CLAVELARIO, 2012).

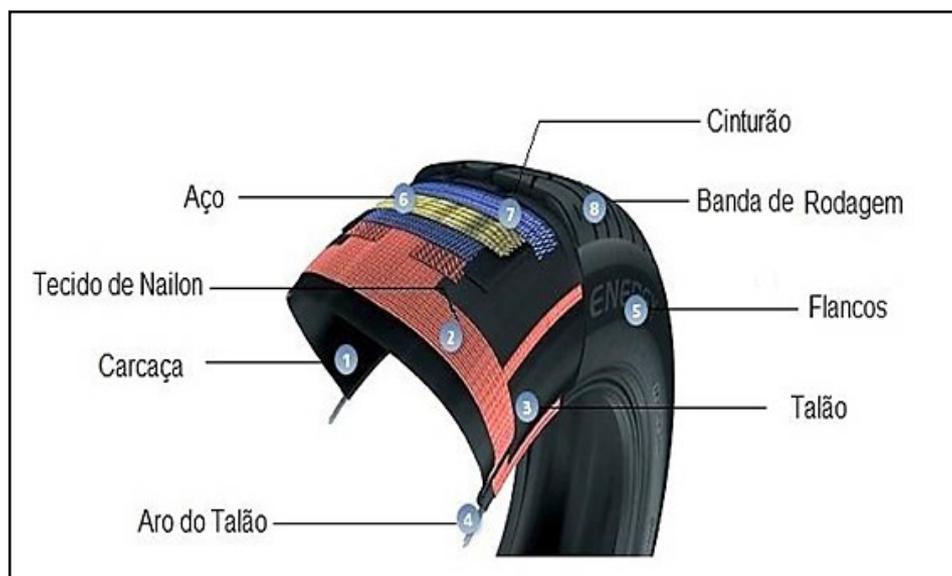


Figura 2: Representação da estrutura de um pneu  
Fonte: Adaptado de MICHELLIN (2010).

Após o produto estar acabado, o pneu está pronto para a distribuição, comercialização e utilização, entretanto, ao se considerar o ciclo de vida desse produto, o resíduo torna-se um fator importante a ser avaliado, uma vez pode vir a causar poluição visual e, quando considerada às condições de saúde pública, em épocas de precipitação pluviométrica, o pneu se torna uma provável fonte para o desenvolvimento de pragas e vetores, devido à possibilidade de acumular água.

### 2.3 Problemas ambientais

#### 2.3.1 Contaminações de recursos hídricos e solos

A contaminação de recursos hídricos e solos está diretamente ligada à destinação inadequada dos resíduos e a sua degradação (lenta e por tempo indeterminado), principalmente quando esses são descartados no meio ambiente sem nenhuma preocupação quanto aos danos que podem acarretar ao ecossistema e à qualidade de vida da população. A destinação final indevida dos pneus inservíveis, os quais ficam expostos às intempéries ou quando são queimados a céu aberto, também pode causar a contaminação do solo devido a lixiviação dos íons de metais que compõem o aço (presente no pneu) quando o solo apresenta caráter ácido (FREITAS, 2010).

#### 2.3.2 Poluição e emissões atmosféricas

Art. 1º da Resolução 003 do Conselho Nacional De Meio Ambiente (Conama):

Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: I – impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; II - inconveniente ao bem-estar público; III - danoso aos materiais, à fauna e flora. IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (BRASIL, 1990).

A queima de pneumáticos libera monóxido de carbono ( $\text{CO}_{(g)}$ ), óxidos de enxofre ( $\text{SO}_{x(g)}$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_{x(g)}$ ), onde x representa diversas quantidades de oxigênio presentes nos óxidos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs), íons de metais, dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD do inglês *polychlorinated-p-dibenzodioxins*) e os dibenzofuranos policlorados

(PCDF do inglês: *polychlorinated-p-dibenzofurans*), conhecidos por dioxinas e furanos, respectivamente. A emissão atmosférica liberada por essa queima tem cor escura, característica da queima incompleta, Figura 3, em função da formação dessas substâncias tóxicas, altamente nocivas à saúde humana (VELOSO, 2012).



Figura 3: Queima de pneus e liberação de fumos tóxicos  
Fonte: VELOSO (2012)

### 2.3.3 Chuva Ácida e Efeitos Deletérios à Saúde

A queima de compostos que tenham enxofre ou derivados do petróleo é a possível causa pela formação da chuva ácida, pois, na combustão, são gerados dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$  (g)) e  $\text{NO}_x$  (g), os quais se oxidam com o ar atmosférico e com o vapor de água, formando ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido nitroso, entre outros que precipitam em forma de chuva ácida podendo alterar o pH das águas e causar danos à fauna e à flora, bem como ocasionar a degradação de estruturas de origem mineral como, por exemplo, obras da construção civil, monumentos de mármore e estruturas metálicas (QUINTANILHA, 2009).

Também como consequência da destinação incorreta dos pneus há uma série de fatores que podem comprometer a saúde e a qualidade de vida da população em função da emissão atmosférica de gases e substâncias tóxicas, causadas pela queima do produto, conforme Quadro 01. (BAIRD E CANN, 2011, p. 177-181).

Quadro 1: Efeitos dos principais poluentes na atmosfera.

<b>EFEITOS DOS PRINCIPAIS POLUENTES NA ATMOSFERA</b>		
<b>Poluentes</b>	<b>Efeitos sobre a saúde</b>	<b>Efeitos Gerais ao Meio Ambiente</b>
<b>Partículas Totais em Suspensão (PTS)</b>	Causam efeitos significativos em pessoas com doenças pulmonares, como asma e bronquite.	Danos à vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo.

<b>Partículas Inaláveis (PM10)</b>	Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras. Insuficiências respiratórias pela deposição deste poluente nos pulmões.	Danos a vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo.
<b>SO<sub>2(g)</sub></b>	Desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis ao SO <sub>2(g)</sub> . Irritação ocular.	Pode levar a formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação.
<b>NO<sub>x(g)</sub></b>	Aumento da sensibilidade à asma e à Bronquite.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos a vegetação.
<b>CO<sub>(g)</sub></b>	Causa efeito danoso no sistema nervoso central, com perda de consciência e visão. Exposições mais curtas podem também provocar dores de cabeça e tonturas.	-
<b>Ozônio (O<sub>3(g)</sub>)</b>	Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar. Exposição a altas concentrações pode resultar em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração. O O <sub>3(g)</sub> tem sido associado ao aumento de admissões hospitalares.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais. Pode danificar materiais devido ao seu alto poder oxidante.

Fonte: Rio Grande do Sul, [s.d]. Adaptado pelo autor.

## 2.4 Sensibilização

Os resíduos sólidos são gerados diariamente pela população e é de responsabilidade da fonte geradora realizar a segregação e a destinação final adequada. Com a sensibilização da população, a qualidade de vida dos indivíduos poderá ser melhorada, gradativamente. Consequentemente, ocorrerá a diminuição de locais criadouros de vetores, menor probabilidade de inundações em função das precipitações pluviométricas, assoreamentos e doenças. Outro fator importante a ser considerado é que, quando os resíduos são gerenciados de forma correta e a população é sensibilizada, há a possibilidade de reaproveitamento, reciclagem, coprocessamento, dentre outras. Como consequência, há geração de empregos e renda tornando-se assim uma ação social e de preservação do meio ambiente.

## 2.5 Logística Reversa

Com a possibilidade de reaproveitamento dos resíduos gerados tem-se a logística reversa a qual está relacionada com a recuperação dos produtos pós-consumo, a fim de designar um tratamento adequado, minimizar a disposição incorreta de materiais inservíveis no meio ambiente, além de agregar valor nos resíduos, seja por um processo de reforma ou por transformação em novos produtos (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2012).

Na Lei nº 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a logística reversa é definida, no Art. 3º, como:

Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (Brasil, 2010).

Na Resolução nº 416/2009, do Conama, Art. 1º, direcionada para logística reversa de pneus:

Os fabricantes e os importadores de pneus novos, com peso unitário superior a 2,0 kg (dois quilogramas [*sic*]), ficam obrigados a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução (BRASIL, 2009).

## 2.6 Coprocessamento em fornos de cimenteiras

Após realizada a logística reversa dos resíduos de pneus inservíveis, o mesmo pode ser aplicado em diferentes formas de reaproveitamento como, por exemplo, fonte energética em coprocessamento em fornos de cimenteiras, coprocessamento de pneus com a rocha de xisto pirobetuminoso, denominado pirólise, adição na pavimentação asfáltica, entre outros. Todas as alternativas acima são importantes e a escolha dependerá de qual é o interesse no produto que será gerado ou aplicado para produção de outro material. (LAGARINHOS E TENÓRIO, 2008).

O reaproveitamento de resíduos de pneus inservíveis por coprocessamento deu-se início como uma alternativa para melhorar o desempenho econômico da indústria cimenteira. Em resposta à crise desencadeada na década de 1980, o setor cimenteiro implementou estratégias para conciliar o custo da automação e a redução de pessoal. Nesse contexto, o coprocessamento de resíduos iniciou-se na década de 1990 nas cimenteiras de Cantagalo do Estado do Rio de Janeiro, e desde então, essa tecnologia é empregada. No entanto, devido à carência de profissionais habilitados nesse setor, em 1995, vários jornais brasileiros já advertiam sobre o desconhecimento da relação de causa e efeito entre a exposição dos operários aos produtos químicos e os efeitos deletérios à saúde. Dessa forma, os jornais publicaram artigos denunciando suspeitas de intoxicação e problemas dermatológicos em trabalhadores das indústrias cimenteiras de Cantagalo. Estudiosos correlacionaram esses efeitos a várias situações de risco como exposição a emissões de dioxinas e de íons de metais potencialmente tóxicos. Em função das condições descritas anteriormente, justifica-se em função do potencial poluidor da atividade as diversas legislações que regulamentam, tanto do ponto de vista ambiental quanto de saúde dos trabalhadores (ROCHA; LINS; SANTO, 2011).

O coprocessamento em fornos de cimenteiras, Figura 4, é uma tecnologia que consiste na utilização de resíduos industriais e pneus inservíveis como substitutos de combustível e/ou matérias primas não renováveis (calcário, argila e minério de ferro) usadas na fabricação do clínquer em fábricas de cimento devidamente licenciadas para este fim. Os fornos de cimento têm capacidade de destruição de grandes volumes de resíduos e o processo não altera a qualidade do produto final. O coprocessamento elimina de forma econômica, definitiva e ambientalmente segura grandes volumes de resíduos nos fornos de clínquer, não há geração de subprodutos, como cinzas, pois têm-se total incorporação no processo de fabricação de cimento (VOTORANTIM, 2009). O clínquer é o material resultante do processo de calcinação ou clinquerização de calcário e argila, no processo o material produzido no moinho passa por reações químicas que levam a formação de um produto chamado clínquer, principal componente do cimento (SOUZA, 2009)



Figura 4: Fornos de coprocessamento  
Fonte: ABCP (2016)

Para Rocha, Lins e Santo (2011) a concepção tecnológica do coprocessamento baseia-se na queima dos resíduos no forno rotativo de clínquer. Os resíduos são coprocessados nos fornos rotativos devido às condições específicas do processo, como alta temperatura, ambiente alcalino, atmosfera oxidante, ótima associação de gases e produtos, e tempo de residência geralmente suficiente para a destruição de resíduos perigosos. Por outro lado, a utilização desses combustíveis alternativos no processo de produção de clínquer possui limitações como as relacionadas ao volume de combustível secundário que alimenta o forno e limitações ligadas à segurança ambiental.

Segundo Alsop (1998, apud PARLIKAR et al., 2016) a fabricação de cimento consiste em moagem das matérias primas, pré-calцинаção, queima de clínquer e moagem de cimento. O calcário e outros produtos contendo íons cálcio, silício, alumínio e óxidos de ferro são triturados e moídos. Esse composto então é homogeneizado e aquecido no sistema de pré-aquecimento para iniciar a dissociação de carbonato em óxido de cálcio e dióxido de carbono. Um combustível secundário é alimentado no sistema de pré-aquecimento para manter a temperatura suficientemente alta. A alimentação prossegue para o forno, onde há o aquecimento e a reação entre o óxido de cálcio e outros compostos, afim de formar silicatos de cálcio e aluminatos a uma temperatura até 1450 °C. O combustível primário é usado para manter a temperatura adequada na zona de queima para que as reações químicas ocorram. Por fim, o produto é removido do forno rotativo na forma de um material nodular chamado clínquer. Posteriormente o clínquer é moído com gesso, calcário e/ou cinzas para a obtenção do cimento.

No processo de fabricação os materiais a serem coprocessados, nesse caso o pneu, são previamente aprovados e dosados, podendo ser tanto inteiros quanto triturados, em proporções adequadas, permitindo que a qualidade do produto seja garantida, pois os contaminantes reagem com outros materiais no interior do forno, tornando-se inertes e insolúveis, incorporando-se à estrutura cristalina do cimento. A homogeneização das matérias primas à temperatura ambiente com gases a 350 °C, em contracorrente, cria condições favoráveis à condensação de íons de metais ou outros materiais volatilizados no interior do forno, desta forma, estes retornam para o interior do forno e, devido ao atrito entre os materiais, favorece a absorção de íons de metais e outros contaminantes. A atmosfera alcalina no interior do forno favorece a neutralização dos contaminantes ácidos e a destruição da parte orgânica, devido ao tempo de residência no forno, juntamente com altas temperaturas que na chama chega a 2000 °C e na região de queima atinge 1450 °C, a fração mineral é fundida e incorporada à estrutura cristalina do clínquer (VOTORANTIM, 2009).

Para os resíduos serem utilizados nos fornos de cimento, é preciso ter um poder calorífico razoável e uma composição química que não permita na queima, a produção de substâncias que diminuam a qualidade do cimento e não cause danos ao meio ambiente. O maior estímulo para a reciclagem energética, ou seja, obtenção de energia a partir da queima, é o fato do pneu ter um valor comburente atrativo de  $32,6 \text{ MJ.kg}^{-1}$  ( $7.786 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ), se comparado ao do carvão que varia de  $18,6$  a  $27,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$  ( $4.442$  a  $6.663 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ) (MENEZES; PACHECO, 2004). De acordo com Camacho, Matai e Guedes (2014) o pneu apresenta alto poder calorífico, pois em sua composição, há predominantemente, átomos dos elementos químicos carbono e hidrogênio, a ligação é covalente e a quebra dessas ligações e no restabelecimento dessas há a liberação de energia.

Conforme o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2010), Os níveis médios de consumo específico de energia térmica e elétrica na indústria do cimento brasileira encontram-se, respectivamente, em aproximadamente  $825 \text{ kcal.kg}^{-1}$  de clínquer e  $107 \text{ kWh}$  por tonelada de cimento, conforme último levantamento oficial realizado em 2003.

Segundo Landi, Vitali e Germani (2016) a produção global de pneus é estimada em 1,5 bilhões de unidades por ano. Na Europa, hoje, a quantidade de pneus inservíveis que precisa ser processada é de 2,6 milhões de toneladas por ano, 95% dos quais podem ser destinados à recuperação de material reutilizável (39%) ou à recuperação de energia (37%). Na Itália todos os anos cerca de 35 milhões de pneus (400.000 toneladas) de carros, caminhões, veículos agrícolas industriais, passam a ser considerados inservíveis e aproximadamente, 20.000 toneladas ainda é destinado para aterros.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCPP, 2015), no Brasil os pneus inservíveis constituíram em 2014, 24% (265.500 t) do total de resíduos coprocessados, o que acarretou na retirada de, 53 milhões de pneus de automóveis inservíveis, do meio ambiente. Desta maneira o coprocessamento tornou-se uma opção que possibilita o descarte de um grande volume de pneus inservíveis, em diferentes granulometrias, podendo ser inteiros, picados ou triturados, Figuras 5 e 6.



Figura 5: Dosagem de pneus inteiros nos fornos de coprocessamento  
Fonte: TERRA (2016)



Figura 6: Pneus picados  
Fonte: ABCP (2016)

Além da retirada de pneus inservíveis do meio ambiente e reutilizá-lo para fins de recuperação energética o coprocessamento, contribui também para a redução das emissões de gás carbônico do setor, uma vez que muitos desses resíduos utilizados apresentam menor fator de emissão por energia produzida, quando comparados aos combustíveis fósseis tradicionais, isto é, emitem menos  $\text{CO}_{2(g)}$  para produzir a mesma quantidade de energia. Além do  $\text{CO}_{2(g)}$ , as principais emissões decorrentes da produção de cimento são o material particulado,  $\text{SO}_{x(g)}$  e  $\text{NO}_{x(g)}$ . O fórum internacional Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento (CSI do inglês, Cement Sustainability Initiative) desenvolveu um protocolo para o monitoramento das emissões pelo qual as empresas participantes se comprometeram a monitorar, além dos principais poluentes emitidos, outras substâncias como dioxinas e furanos, compostos orgânicos voláteis etc (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA –CNI- E ABCP, 2012).

De acordo com BRASIL (1999) Art. 28 da Resolução 264 do CONAMA, o coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer deverá respeitar os limites máximos de emissão atmosférica, tanto no Teste em Branco quanto no Teste de Queima. O Teste em Branco consiste num conjunto de medições realizadas no forno em funcionamento normal, operando sem a alimentação de resíduos, para avaliação das condições operacionais da Unidade de produção de clínquer e do atendimento às exigências técnicas fixadas pelo Órgão Ambiental. Já o Teste de Queima consiste num conjunto de medições realizadas na unidade operando com a alimentação de resíduos, para avaliar a compatibilidade das condições operacionais da instalação de produção de clínquer com o atendimento aos limites de emissões definidos na presente Resolução e com as exigências técnicas fixadas pelo Órgão Ambiental.

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida de forma bibliográfica na Universidade de Passo Fundo por meio de acervos digitais disponibilizados pela biblioteca da UPF, para avaliação da utilização dos pneus inservíveis no coprocessamento em fornos de clínquer, e legislações pertinentes ao processo no Brasil.

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coprocessamento está bem estruturado no âmbito de legislações, normas técnicas, resoluções, portarias, em que as mesmas determinam requisitos mínimos para que tal processo ocorra de forma segura e eficaz. De acordo com Lagarinhos, Espinosa e Tenório (2016) no Brasil a primeira regulamentação para a queima em fornos de cimento referente ao coprocessamento foi a Resolução CONAMA nº 264 de 1999, que instituiu o Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos excetuando-se os resíduos domiciliares, de serviços de saúde, os radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins. Esta resolução não estabelece os limites para as dioxinas e os furanos, mas fixa os limites máximos de emissão atmosférica de alguns poluentes e a Resolução CONAMA nº 316 de 2002, dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.

Já a Resolução CONAMA nº 258 de 1999, dispõe que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. A Resolução CONAMA nº 258/99, foi alterada pela Resolução CONAMA nº 301/02 e, posteriormente, revogada e substituída pela Resolução CONAMA nº 416/09, de 30 de setembro de 2009, que alterou a forma de cálculo para a reciclagem de pneus inservíveis, de número de pneus produzidos, para número de pneus comercializados no mercado de reposição. Os distribuidores, revendas, destinadores, consumidores e poder público, devem participar junto com os fabricantes e importadores para implementar procedimentos para a coleta dos pneus (LAGARINHOS; ESPINOSA; TENÓRIO, 2016).

No estado do Rio Grande do Sul a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Röessler – FEPAM na Portaria Nº 16/2010, exige que resíduos descritos no Art. 2º da mesma, não sejam mais destinados, no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul, em sistemas de destinação final de resíduos denominados “aterro de resíduos classe I” e “central de recebimento e destinação de resíduos classe I”. A destinação final dos resíduos definidos no art. 20, no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul, deverá ser realizada em unidades licenciadas de: I - reprocessamento; II – recuperação; III – reciclagem; IV – tratamento biológico; V - coprocessamento em fornos de clínquer; VI - sistemas de tratamento térmico (incineração).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAS

Segundo Lagarinhos, Espinosa e Tenório (2016) coloca-se à disposição uma alternativa de destinação final segura, definitiva e de baixo custo, que atende à legislação ambiental vigente. Há uma série de vantagens com relação ao coprocessamento de pneus inservíveis em fornos de clínquer, tais como: eliminar os criadouros de vetores, geração em menores quantidades de  $SO_{2(g)}$  e  $NO_{x(g)}$  que os combustíveis tradicionais; redução do custo de produção do cimento; ambiente de produção do cimento (meio alcalino e presença de sulfatos, além do tempo de residência elevado) dificulta a formação de dioxinas e furanos; e o alto poder calorífico do pneu.

A coleta e destinação dos pneus inservíveis é de responsabilidade dos fabricantes e importadores de pneus, sendo que uma das dificuldades encontradas é a logística. Os pneus inservíveis não devem ser considerados resíduos e sim um combustível alternativo ou matéria prima para a fabricação do cimento a forma de coprocessar seja de pneus inteiros ou triturados depende da tecnologia utilizada para a alimentação no forno de clínquer, dos controles dos filtros e dos precipitadores eletrostáticos. A capacidade disponível para o coprocessamento de pneus é de 600 mil toneladas por ano, ou seja, 120 milhões de pneus de automóveis (LAGARINHOS; ESPINOSA; TENÓRIO, 2016).

Resultando num melhor relacionamento com a comunidade e órgão ambiental, contribuindo para uma política de qualidade, além dos benefícios econômicos e das vantagens do próprio processo sobre alternativas, como a incineração e o aterro de resíduos industriais perigosos. O coprocessamento exige investimentos compatíveis com os retornos proporcionados, o que é muito importante, não gera

resíduos adicionais, além da minimização dos resíduos pós-consumo e industriais (LAGARINHOS, 2004).

## 6 REFERÊNCIAS

- ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Estatísticas**. 2015. Disponível em: <<http://coprocessamento.org.br/estatisticas>>. Acesso em: 20 set. 2016
- ABCP, Associação Brasileira de Cimentos Portland - **Panorama do Coprocessamento Brasil 2016**. 2016. Disponível em: <[http://coprocessamento.org.br/cms/wpcontent/uploads/2017/01/Panoramacoprocessamento\\_20161](http://coprocessamento.org.br/cms/wpcontent/uploads/2017/01/Panoramacoprocessamento_20161)>. Acesso em: 31 maio 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **10.004**: Resíduos Sólidos - Classificação. 2 ed., 2004. 71 p. Disponível em: <<http://analiticaqmc.paginas.ufsc.br/files/2013/07/residuos-nbr10004.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2016.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844 p.
- BERTOLLO, S. M.; JÚNIOR, J. L. F.; SCHALCH, V. BENEFÍCIOS DA INCORPORAÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS. In: XVIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 2002, Cancún, México. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iv-003.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2016.
- BNDES – BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. *Negro de fumo*, 1998. Disponível em: <[http://www.bndespar.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecime nto/setorial/negro.pdf](http://www.bndespar.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecime nto/setorial/negro.pdf)>. Acesso em: 09 jun. 2016.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=1001>>. Acesso em: 03 jun. 2016.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1999. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_1999\\_264.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1999_264.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2016.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>>. Acesso em: 20 set. 2016.
- BRASIL. Constituição (2010). Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 02 ago. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato20072010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 05 out. 2016.
- BRASIL. Constituição Federal do Brasil, 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm)>. Acesso em: 18 abr. 2016.
- CAMACHO, J. L. P.; MATAI, Patrícia H. L. S.; GUEDES, Isabel C. **DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO DE UM COMBUSTÍVEL SÓLIDO OU LÍQUIDO USANDO A BOMBA CALORIMÉTRICA**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/d/pqi2110/arquivos/apost-lab-qtg-2014.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2017

CLAVELARIO, R. F. **PROCESSAMENTO DE ELASTÔMEROS NA FABRICAÇÃO DE PNEUMÁTICOS**. 2012. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Produção de Polímeros, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.uezo.rj.gov.br/tccs/capi/Renato%20Ferreira%20Clavelario.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2016.

CNI, Confederação Nacional da Indústria; ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. Indústria brasileira de cimento: Base para a construção do desenvolvimento. In: CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2012, Brasília. Disponível em: <[http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo\\_18/2013/09/23/4970/20131002162355200901e.pdf](http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2013/09/23/4970/20131002162355200901e.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2016.

FREITAS, S. S. (2010). Benefícios sociais e ambientais do coprocessamento de pneus inservíveis. Estudo de caso na cidade de João Pessoa- PB. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação), Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. Disponível em: <[http://coprocessamento.org.br/cms/wpcontent/uploads/2013/08/dissertacao\\_sidclea-PB.pdf](http://coprocessamento.org.br/cms/wpcontent/uploads/2013/08/dissertacao_sidclea-PB.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2016.

GALLE, A. H.; LOPES, E. F. S.; ARAÚJO, M. J. G.; GRAMA, Y. S. A influência do pneu no meio ambiente. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP CAMPUS GURUJÁ, 2010. Disponível em: <<http://www.unaerp.br/siciunaerp/edicoesanteriores/2010/secao-1-6/1196-a-influencia-do-pneu-no-meio-ambiente/file>>. Acesso em: 04 jun. 2016.

LAGARINHOS, C. A. F.; ESPINOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S. A Evolução Do Coprocessamento De Pneus Inservíveis No Brasil. In: 22<sup>o</sup> CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2016, Natal. **Anais**. Disponível em: <<http://www.cbecimat.com.br/anais/PDF/416-036.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2017.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Logística reversa dos pneus usados no Brasil. **SciELO Brasil: Polímeros**, São Paulo, v. 23, n. 1, p.1-10, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282013000100012](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282013000100012)>. Acesso em: 20 set. de 2016.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Tecnologias Utilizadas para a Reutilização, Reciclagem e Valorização Energética de Pneus no Brasil. **SciELO Brasil: Polímeros**, São Paulo, v. 18, n. 2, p.106-118, abr./jun. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v18n2/a07v18n2.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2016.

LAGARINHOS, Carlos Alberto Ferreira. **Reciclagem de Pneus: Coleta e Reciclagem de pneus. Coprocessamento na indústria de cimento, Petrobras SIX e Pavimentação asfáltica**. 2004. 257 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Tecnologia Ambiental, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp150038.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2016.

LANDI, Daniele; VITALI, Samuele; GERMANI, Michele. Environmental analysis of different end of life scenarios of tires textile fibers. **23rd CIRP Conference on Life Cycle Engineering**, Berlin, Germany v. 48, p.508-5013, 2016. Disponível em: <[http://ac.els-cdn.com/S2212827116301123/1s2.0-S2212827116301123-main.pdf?\\_tid=37aef2b6-39ad-11e7-a7ba-00000aac-b35f&acdnat=1494880358\\_fbf65083c79c92e0234efbafae6e382c](http://ac.els-cdn.com/S2212827116301123/1s2.0-S2212827116301123-main.pdf?_tid=37aef2b6-39ad-11e7-a7ba-00000aac-b35f&acdnat=1494880358_fbf65083c79c92e0234efbafae6e382c)>. Acesso em: 15 maio 2017.

- MENDA, M. **Borrachas - química e tecnologia**. 2012. Conselho Regional de Química- IV Região. Disponível em: <[http://www.crq4.org.br/quimicaviva\\_borrachas](http://www.crq4.org.br/quimicaviva_borrachas)>. Acesso em: 04 jun. 2016.
- MENEZES, Viviane j.; PACHECO, E. B.A.V. Degradação Térmica de Pneus Inservíveis. **Jornal de Plástico**. Rio de Janeiro, mar. 2004. Disponível em: <<http://www.jorplast.com.br/jpmar04/pag11.html>>. Acesso em: 20 set. 2016.
- MICHELIN. **O que compõe um pneu?** 2010. Disponível em: <<http://www.michelin.pt/pneusturismo/conselhos/tudo-sobre-o-pneu/o-que-compoe-um-pneu>>. Acesso em: 25 set. 2016.
- PARLIKAR, Ulhas et al. Effect of Variation in the Chemical Constituents of Wastes on the Co-processing Performance of the Cement Kilns. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p.506-51, 2016. Disponível em: <[http://ac.els-cdn.com/S1878029616301244/1-s2.0-S1878029616301244-main.pdf?\\_tid=6255a170-39a5-11e7-a3a1-00000aacb35f&acdnat=1494876994\\_ddf205f246e1326406231d064dfaff](http://ac.els-cdn.com/S1878029616301244/1-s2.0-S1878029616301244-main.pdf?_tid=6255a170-39a5-11e7-a3a1-00000aacb35f&acdnat=1494876994_ddf205f246e1326406231d064dfaff)>. Acesso em: 15 maio 2017.
- PARRA, C. V.; NASCIMENTO, A. P. B.; FERREIRA, M. L. *Reutilização e Reciclagem De Pneus, E Os Problemas Causados Por Sua Destinação Incorreta*. In: XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica (INIC) e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação (EPG) e IV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica Júnior (INICJr), Universidade Nove de Julho- Barra Funda- São Paulo p. 1-5, 2010. Disponível em: <[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2010/anais/arquivos/0908\\_0988\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/0908_0988_01.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2016.
- QUINTANILHA, L. O universo das emissões atmosféricas e a atuação do setor industrial. **Revista Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, p.27-40, jul./ago. 2009. Disponível em: <[http://apatru.org.br/arquivos/{59FEA2F4F7094514A564B44CB8855016}\\_35Emissoes\\_atmosfericas.pdf](http://apatru.org.br/arquivos/{59FEA2F4F7094514A564B44CB8855016}_35Emissoes_atmosfericas.pdf)>. Acesso em: 03 jun. 2016.
- RIO GRANDE DO SUL. Fundação Estadual de Proteção Ambiental, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/Portaria016-2010.pdf>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.
- RIO GRANDE DO SUL. Fundação Estadual de Proteção Ambiental, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/poluentes.asp>>. Acesso em: 20 de set. de 2016.
- ROCHA, J. C.; ROSA, A. H; CARDOSO, A. A. Introdução à química ambiental. Porto Alegre: Bookman, 2004. 154 p.
- ROCHA, Sônia Denise Ferreira; LINS, Vanessa de Freitas Cunha; SANTO, Belinazir Costa do Espírito. Aspectos do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p.1-10, jan/mar, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n1/a03v16n1.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2017.
- SAIANI, C. C. S.; DOURADO J.; JÚNIOR, R. T. Resíduos Sólidos no Brasil: *oportunidades e desafios da Lei Federal nº 12.305 (Lei de Resíduos Sólidos)*. Barueri, SP: Minha Editora, 2014. 423 p.
- SNIC, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento-. **Press Kit**. 2010. Disponível em: <[http://www.snic.org.br/pdf/presskit\\_SNIC\\_2010.pdf](http://www.snic.org.br/pdf/presskit_SNIC_2010.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2016

SOUZA, Jailson Mathias de. **Estudo do comportamento químico durante a formação de anéis de clínquer em fábrica de cimento.** 2009. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

TERRA, Rosana. RECICLAGEM: Votorantim Cimentos reaproveita pneus do Autódromo Internacional Nelson Piquet. **Jornal de Sobradinho.** Sobradinho, p. 0-0. 12 fev. 2016. Disponível em: <<http://emicles.blogspot.com.br/2016/02/reciclagem-votorantim-cimentos.html>>. Acesso em: 31 maio 2017.

VELOSO, Z. M. F. Ciclo de Vida dos Pneus. INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/Zilda-Maria-Faria-Veloso-Ciclo-Vida-Pneus.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2016.

VOTORANTIN. **COPROCESSAMENTO:** c. 2009. Disponível em: <<http://www.votorantimcimentos.com.br/htms-ptb/responsabilidade/coprocessamento.htm>>. Acesso em: 20 set. 2016.