

**ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS PROVENIENTES DO PROCESSO DE QUEIMA DE PNEUS INSERVÍVEIS**

Ana Luiza Costa Pereira¹, Luciana Abreu Barbosa², Diego Eduardo Costa³, Mariana Carla de Sousa e Silva⁴ & Giovanni Francisco Rabelo⁵

1 - Eng^o. Agrônoma, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - UFLA/Lavras-MG. ana.pereira551@gmail.com

2 - Arquiteta e Urbanista, Professora Adjunta IV da Universidade Federal de Lavras – UFLA/Lavras-MG. luciana@deg.ufla.br

3 - Eng^o. Agrícola, Doutor em Engenharia Agrícola da UFLA/Lavras-MG. diegocoelho.ufla@gmail.com

4 - Eng^o Civil, Projetista Autônoma. marianamonteiro@hotmail.com

5 - Eng^o. Eletricista, Professor Titular da Universidade Federal de Lavras - UFLA/Lavras-MG. rabelo@deg.ufla.br

Palavras-chaves:

Pneus inservíveis
Lavagem de Gases
Águas Residuárias
Análises Físico-químicas

RESUMO

O sistema de produção industrial mundial gera uma quantidade elevada de resíduos que, em diversas situações, são lançados de forma inadequada no meio ambiente, causando danos à fauna, flora, bem como aos seres humanos. A incineração do pneu inservível ainda é uma alternativa viável, porém, se realizada ao ar livre, causa poluição do ar, solo e água, e provoca ainda problemas de saúde à população. Os filtros de lavagem de gases são dispositivos que permitem que o processo de queima seja realizado sem danos ao meio ambiente. A metodologia deste experimento buscou avaliar a qualidade da água residuária resultante do processo de queima de pneus inservíveis. Para identificar e quantificar os contaminantes presentes na água, provenientes do processo de queima das raspas, foram realizadas análises físico-químicas das amostras coletadas. Os resultados indicaram que água residuária apresenta potencial Hidrogeniônico ácido, devido a presença de compostos de enxofre entre outros elementos advindos do processo de queima, tais como os metais pesados cromo, cádmio e chumbo.

Keywords:

Insufferable tire
Gas cleaning
Wastewater
Physicochemical analysis

PHYSICAL-CHEMICAL ANALYSIS OF RESIDUE WATERS FROM THE PROCESS OF BURNING OF INSERVABLE TIRES**ABSTRACT**

The world industrial production system generates a high amount of waste, which in various situations is released inadequately in the environment, causing damages to fauna, flora, and humans. The incineration of insufferable tire is still a viable alternative, but if it is carried out outdoor, it causes air, soil, and water pollution, and it also causes health problems to the population. Gas scrubbing filters are devices that allow the burning process to be performed without damage to the environment. The methodology of this experiment aimed to evaluate the wastewater quality resulting from the useless tires process of burning. In order to identify and quantify the contaminants present in the water from the burning process of the shavings, physical-chemical analyzes of the collected samples were performed. The results indicate that wastewater has an acidic Hydrogenion potential, due to the presence of sulfur compounds among other elements from the burning process, such as heavy metals chromium, cadmium, and fumes.

INTRODUÇÃO

A crescente atividade industrial mundial e a ausência de programas de gestão de resíduos eficazes estimulam uma maior geração de material, sem que haja uma correta utilização ou deposição desses, proporcionando um passivo ambiental que compromete a qualidade de vida das gerações futuras (RIBEIRO & MORELLI, 2009). Com a indústria de pneus, o que ocorre não é diferente, podendo ser considerada até mais agressiva, pois os pneus descartados, em geral, são queimados ou convertidos em abrigos para a proliferação de insetos (LAGARINHOS *et al.*, 2011).

Um pneu é considerado inservível quando não possui mais condição para circulação ou reforma e passa a representar, portanto, um passivo ambiental extremamente preocupante, seja pela quantidade ou pelo grau de poluição que pode trazer ao meio ambiente. Todavia, o pneu descartado pode ser utilizado como fonte de energia alternativa, como, por exemplo, combustível em caldeiras e em fornos da indústria cimenteira. Porém, esta forma de utilização possui como fator limitante a fumaça tóxica liberada durante o processo de queima.

Em relação aos pneumáticos, como resíduos sólidos, em 1999, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) aprovou a Resolução de nº 258 (BRASIL, 1999). Essa resolução foi alterada pela Resolução nº 301/2002 (BRASIL, 2002) e revogada pela Resolução CONAMA nº 416/09 (BRASIL, 2009), atualmente em vigor. Esta resolução define as diretrizes sobre a prevenção da degradação do meio ambiente, relacionada aos pneus inservíveis e expõe as providências em relação a sua destinação adequada. De acordo com essa resolução, os fabricantes e importadores, articulados com distribuidores, revendedores e consumidores finais, deverão obedecer aos procedimentos para a coleta correta dos pneus inservíveis no país (VIEIRA, 2015).

A queima de resíduos produzidos pelos diversos setores, conjuntamente com sólidos em combustão de certos combustíveis fósseis, tais como o carvão e a biomassa, é normalmente prejudicial ao meio ambiente, pois produz quantidades consideráveis de poluentes atmosféricos (gases ácidos, monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, partículas, dióxido de enxofre, etc.), os quais são fontes locais e globais de poluição ambiental (BODÉNAN &

DENIARD, 2003).

As emissões de compostos tóxicos são problemáticas em se tratando de queima de pneus automobilísticos. Embora seja uma forma eficaz de eliminá-los completamente, evitando a superlotação dos aterros, a prática é considerada condenável, devido aos problemas de poluição gerados.

O emprego de lavadores de gases no controle da poluição atmosférica possibilita a recuperação de materiais provenientes de gases tóxicos, via resfriamento e adição de líquido (ou vapor) às correntes gasosas. As partículas sólidas presentes no fluxo gasoso são coletadas através do contato direto com o líquido atomizado, geralmente, água (GAMA, 2008).

As Resoluções Conama 357/05, 396/08, 397, 430/2011, que dispõem sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e superficiais, determinam as concentrações máximas permitidas para determinadas substâncias, por exemplo, teor de acidez, pH, dureza, sulfato, entre outras, e estabelece as condições e os padrões para o lançamento de efluentes. Os principais indicadores de qualidade da água são analisados sob os aspectos físicos, químicos e biológicos.

Visando à redução dos impactos ambientais resultantes da prática de descarte e queima de pneus inservíveis, o presente estudo tem como objetivo analisar a qualidade da água residuária gerada durante a etapa de lavagem de gases, por meio da quantificação do enxofre presente nesta.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no laboratório da Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM).

Conforme apresentado na Tabela 1, este estudo compõe-se de sete tratamentos. O primeiro (T1), adotado como controle, é composto por amostras da água utilizada no processo de queima, considerada adequada para o consumo. Os demais tratamentos (T2 a T7) são compostos por amostras da água residuária resultante do processo de queima e lavagem dos gases, e apresentam, como principal diferença, a quantidade de raspa de pneus utilizada durante a etapa de queima.

As rasas de pneus automobilísticos, provenientes da etapa de raspagem, intrínseca ao processo de reforma de pneus, foram doadas por uma unidade reformatora, localizada na cidade de Lavras-MG. O material recebido, composto de partículas de diferentes formatos e tamanhos, foi encaminhado à UEPAM para separação e obtenção da granulometria de interesse ao experimento. Para tal procedimento, foi utilizada uma peneira #50 e selecionado o material passante. As rasas foram separadas em lotes, dos

quais derivaram os sete tratamentos descritos.

Antes de realizar a queima, o material foi fracionado para assegurar a uniformidade do experimento. Posteriormente, os lotes foram queimados em um reator. A fumaça liberada pela queima foi sugada por um exaustor e direcionada para um tubo de maior dimensão (200 mm), contendo três aspersores de água em seu interior, abastecidos constantemente com água pulverizada bombeada de um tanque lavador, figura 1.

Tabela 1. Delineamento Experimental

Tratamento	Qtde de Raspa (g)	Amostragem (ml)	Repetição
T1	0	2000	4
T2	500	2000	4
T3	1000	2000	4
T4	1500	2000	4
T5	2000	2000	4
T6	2500	2000	4
T7	3000	2000	4

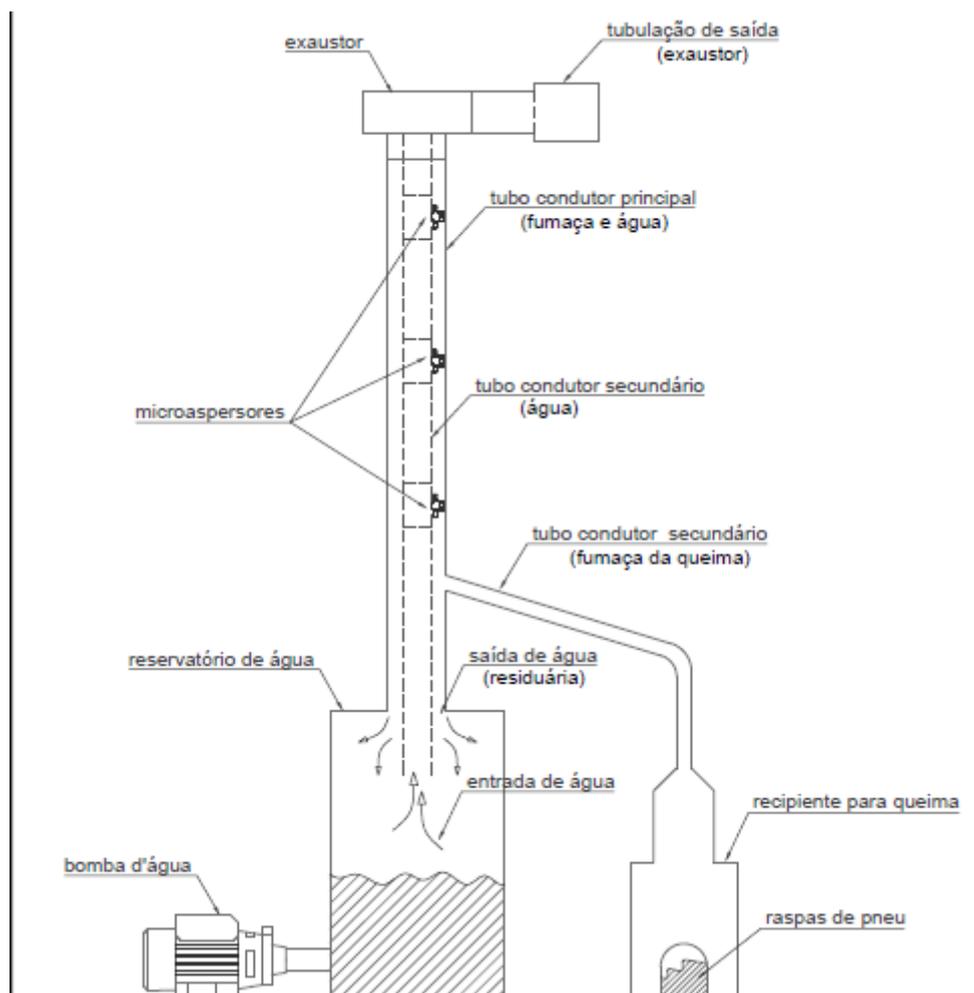


Figura 1. Desenho esquemático do filtro de lavagem de gases

A água residuária resultante do contato da água aspergida com a fumaça, na qual os compostos químicos incorporaram-se, foi armazenada em um tambor para que as análises de suas propriedades físicas e químicas pudessem ser realizadas. A amostragem, para as análises físico-químicas, foi realizada após as etapas de queima e lavagem para cada tratamento. A água residuária foi coletada e armazenada em garrafas de polietileno tereftalato (PET) recicladas (2000 ml), devidamente higienizadas. As amostras não passaram por nenhum preparo inicial.

As amostras de água residuária coletadas foram conduzidas ao Laboratório de Análises de Água do Departamento de Engenharia (DEG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), para obtenção dos valores de acidez e pH, e foi utilizada a metodologia presente no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (BAIRD, 2017).

As concentrações de enxofre, cálcio e magnésio foram obtidas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciência dos Solos (DCS) da UFLA, com a utilização de um aparelho ICP OES, espectrofotômetro de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado, marca Spectro, modelo Blue, fabricação alemã.

A concentração de metais pesados, como Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Arsênio (As), e Cádmio (Cd) foi medida com um espectrofotômetro de absorção atômica, simultânea em forno de grafite, Analyst 800, Marca Perkin Elmer Precisely.

Através dos dados obtidos nos experimentos, foram realizadas análises estatísticas com a aplicação do teste de variância e do teste tukey para avaliar a média dos tratamentos, com um nível de significância de 5%, utilizando um delineamento

com blocos casualizados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme os resultados apresentados na Tabela 2, pode-se observar que a variação na quantidade das raspas de pneu, utilizada durante o processo de queima, afeta significativamente a acidez da água residuária resultante do mesmo.

O pH configura-se como um dos parâmetros mais importantes ao se tratar de saneamento ambiental, sendo, portanto, amplamente utilizado em caracterização de águas fluviais e efluentes. O pH está relacionado à atividade hidrogeniônica, ou seja, à concentração de íons (H^+ e OH^-) e caracteriza a intensidade de ácidos em uma solução (SANCHES, 2014). Ao se avaliar os valores de pH obtidos nos tratamentos da Tabela 2, percebe-se um decréscimo dos valores entre os tratamentos (T1 a T7). O acréscimo da quantidade de raspas de pneu durante o processo de queima afeta significativamente os valores médios do pH. Estatisticamente, todos os valores médios obtidos são diferentes entre si, com exceção dos tratamentos T4 e T5, únicos estatisticamente iguais. A faixa de variação obtida para os valores deste parâmetro encontra-se entre 7,46 e 1,63, referente ao valor inicial e ao valor obtido para a queima de 3000g de raspas de pneu, respectivamente. A Resolução Conama 357/2005 determina para as águas a classificação das condições e dos padrões, para o lançamento de efluentes, um valor de pH em torno de 6 a 9. Neste experimento, apenas as águas residuárias do tratamento T2 (500g de raspas) enquadram-se nesta faixa. A queda no pH das águas residuárias é atribuída, da mesma forma que para a acidez, à elevada quantidade de compostos de enxofre presente na mesma.

Tabela 2. Acidez, pH e concentração de compostos de enxofre (SO_x) em águas residuárias resultantes do processo de queima de pneus inservíveis.

Tratamento	Acidez	pH	SO_x (mg/l)
T1	10,00g	7,46a	0,13g
T2	44,75f	6,60b	40,47f
T3	82,25e	4,21c	1383,38e
T4	129,00d	3,18d	1749,22d
T5	278,25c	3,12d	1784,17c
T6	400,75b	2,17e	1815,18b
T7	577,25a	1,63f	3928,10a
CV(%)	3,66	3,21	0,01

A Tabela 2 apresenta também os valores obtidos para as concentrações de compostos de enxofre (SO_x) presentes nas águas residuárias. Os resultados da análise estatística mostram que a quantidade de raspas de pneus utilizadas durante o processo de queima afeta significativamente a concentração destes compostos nas águas residuárias, resultantes do processo (T2 a T7). De acordo com a Resolução Conama 357, o limite de sulfato total em águas doces deve ser de 250 mg/l. Conforme observado na Tabela 2, todos os tratamentos, com exceção do T2 (40,75 mg/l), apresentaram concentrações de SO_x que ultrapassam os valores pré-determinados, tornando as respectivas águas, sem qualquer tratamento prévio, impróprias para o consumo.

A concentração do elemento Ca sofre variação significativa entre os tratamentos. Conforme pode ser visto na Tabela 3, todos os tratamentos, com exceção do T2 e T3, são diferentes entre si. No entanto, embora as concentrações médias sejam diferentes entre si, de uma forma geral, estas são consideradas baixas, devido à ausência de rochas calcíneas na região de Lavras, MG.

As concentrações médias de Mg são menos afetadas pela quantidade de raspa de pneus utilizada no processo de queima. Este elemento apresenta-se praticamente inalterável entre os tratamentos T1 e T5, considerados estatisticamente iguais. Apenas os tratamentos T6 (0,14 mg/l) e T7 (0,38 mg/l) apresentam concentrações médias mais elevadas e são considerados, portanto, estatisticamente diferentes entre si e entre os demais.

Conforme pode ser observado na Tabela 4, a variação na quantidade de raspas de pneu, utilizada durante o processo de queima, afetou razoavelmente a concentração de metais pesados nas águas residuárias resultantes do processo. Este impacto foi mais significativo para os metais Cd e menos significativo para os metais Pb e Cr.

Para o elemento Cd, as concentrações médias obtidas são estatisticamente diferentes entre os tratamentos T1 (0,020 mg/l), T2 (0,083 mg/l) e T7 (0,105 mg/l). Os tratamentos T3, T4, T5 e T6 são estatisticamente iguais ao tratamento T2 e T7, e apresentam uma faixa de variação para este elemento de 0,090 mg/l e 0,100 mg/l.

Tabela 3. Concentração de Ca e Mg em águas residuárias resultantes do processo de queima de pneus inservíveis.

Tratamento	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
T1	0,17f	0,01c
T2	6,68e	0,02c
T3	6,71e	0,03c
T4	9,50d	0,03c
T5	9,88c	0,05c
T6	10,19b	0,14b
T7	10,95a	0,38a
CV(%)	1,54	32,03

Tabela 4. Concentração de metais pesados em águas residuárias resultantes do processo de queima de pneus inservíveis.

Tratamento	Cd(mg/l)	Pb(mg/l)	Cr (mg/l)
T1	0,020c	0,010b	0,010b
T2	0,083b	1,065a	1,370a
T3	0,090ab	1,085a	1,383a
T4	0,090ab	1,085a	1,383a
T5	0,100ab	1,100a	1,393a
T6	0,100ab	1,100a	1,393a
T7	0,105a	1,095a	1,93a
CV (%)	9,64	2,24	1,07

Os elementos Pb e Cr foram, dentre os metais analisados neste experimento, os que apresentaram menor variação de concentração entre os tratamentos. Para ambos, os elementos, os tratamentos são estatisticamente diferentes apenas quando se compara a água sem a interferência das raspas de pneus (T1) e as águas residuárias com a presença destas (T2 a T7). Entre os tratamentos T2 e T7, não são encontradas diferenças significativas, segundo a análise estatística.

A Resolução Conama 397 apresenta as concentrações limites iguais a 1mg/l, 0.5 mg/l e 1 mg/l para os metais Pb e Cr, respectivamente, para o Cd a concentração limite é de 0,2 mg/l. A análise comparativa desses valores com os encontrados neste experimento nos mostra que apenas o Cd (concentração máxima igual a 0,105 mg/l) não extrapola o limite determinado pela resolução. A concentração máxima dos demais elementos, Pb (1,095 mg/l) e Cr (1,385 mg/l), ultrapassam o limite imposto e encontram-se em níveis já considerados de contaminação. Adicionalmente, vale ressaltar para estes três últimos elementos que qualquer teor de raspa utilizado durante o processo de queima já desencadeia o processo de contaminação da água utilizada durante o processo de queima de raspas e lavagem dos gases liberados por este. Assim, considerando o que preceitua a norma, que traz os parâmetros para fins de lançamento de efluente, no que tange à água residuária, resultante do processo de queima de pneus, o atendimento da norma só será possível se houver remoção dos elementos tóxicos, do contrário, estas se tornarão fontes poluidoras e nocivas à saúde.

CONCLUSÃO

- Os resultados obtidos no estudo caracterizam a água residuária do processo de queima de pneus inservíveis como imprópria para serem lançadas na natureza, sem algum tratamento prévio, por apresentar um pH ácido e elevadas concentrações de compostos de enxofre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAIRD, ROGER B. Standard Methods For The Examination Of Water And Wasterwater, 23^{Ed} – Farmabooks Ed. 2017.

BODÉANAN, F.; DENIARD, Ph. Characterization of flue gas cleaning residues from European solid waste incinerators: assessment of various Ca-based sorbent processes. *Revista Chemosphere*, v.51, n.5, p.335-347, 2003.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 258, de 26 agosto de 1999. *Diário Oficial da União*, n.230, seção 1, p.39, 1999.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 301, de 21 de março de 2002. *Diário Oficial da União*, n.166, seção 1, p.120-121, 2002.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 416, de 30 de setembro de 2009. *Diário Oficial da União*, n.188, p.64-65, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicado no *Diário Oficial da União* de, v.18, n.03, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA n.396, de 3 de abril de 2008. Publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, p.64-68. Acesso em: dez. 2008.

BRASIL. Resolução Conama nº 397, de 3 de abril de 2008. Altera o inciso II do § 4o e a Tabela X do § 5º, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente — Conama no 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília: MMA, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução, n.357.

GAMA, M.S.C. Estudo De Um Sistema De Limpeza De Gases Usando Um Lavador Venturi De Seção Circular. 2008. 77 p. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

LAGARINHOS, C.A.F. et al. Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil. Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos, v.18, n.2, p.106-118, 2008.

RIBEIRO, D.V.; MORELLI, M.R. Revista Resíduos sólidos: problema ou oportunidade. São Paulo, SP: Interciência, 2009. 135p.

VIEIRA, Lucas de Castro Nogueira. Análise da viabilidade da utilização de resíduos de recauchutagem de pneus na indústria. 2015.