

# Avaliação das características químicas, volumétricas e mecânicas, quando incorporado escória de chumbo proveniente da reciclagem de baterias

Renan Carlos Griggio<sup>1</sup>

Gislaine Luvizão<sup>2</sup>

## Resumo

As baterias automotivas são um dos principais componentes de um automóvel, um dos métodos mais viáveis para a produção é a reciclagem das baterias para obtenção das matérias primas, porém esse processo gera resíduos, que descartados incorretamente podem trazer sérios danos ao meio ambiente e a saúde das pessoas. O seguinte estudo tem por finalidade a incorporação de resíduo denominado de escória de chumbo em um traço padrão de pavimentação, foram incorporados quatro teores desse material 2%, 4%, 6% e 8%. Com a moldagem de corpos de prova padrão foi realizada a solubilidade das amostras e analisado os metais pesados presente. Os agregados, ligante e escória foram submetidos a ensaios de caracterização respeitando normas vigentes. O teor de ligante adotado foi encontrado em um trabalho realizado anteriormente com os mesmos materiais do traço padrão. As porcentagens dos agregados utilizados em cada corpo de prova foram de 55% de pó de pedra, 30% de pedrisco, 15% de brita I e os teores já citados de escória em forma de adição. Foram moldados 4 corpos de prova para cada teor, um corpo de prova de cada teor foi submetido a solubilização, essa água posteriormente foi analisada para encontrar possíveis excessos de metais pesados. Os corpos de prova foram rompidos a RTCD e estabilidade, os resultados foram satisfatórios para todos os teores mostrando que a escória auxilia na melhoria das características mecânicas e físicas dos pavimentos. Os resultados químicos para Alumínio (Al), Zinco (Zn) atenderam aos parâmetros normatizados, porém o Cálcio (Ca), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Nitrato (NO<sub>3</sub>) obtiveram valores muito elevados em relação aos parâmetros normatizados. Portanto a escória de chumbo não é recomendada para utilização em campo nos pavimentos flexíveis devido suas características químicas. Para uma possível aplicação seria necessário o estudo de novos teores de CAP e escória.

Palavras-Chave: Escória de Chumbo. RTCD. Estabilidade. Compostos Químicos.

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de reciclagem de baterias tem como finalidade, a extração do chumbo, sendo esse o material mais caro para a confecção das mesmas, além do chumbo outros elementos da bateria são extraídos e utilizados, como o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) que é

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Civil na Universidade do Oeste de Santa Catarina; renangriggio@gmail.com

<sup>2</sup> Professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina; gislaine.luvizao@unoesc.edu.br

estabilizado, o plástico e entre outros. A reciclagem das baterias possui alguns passos, primeiramente as mesmas são trituradas para posteriormente passarem por uma separação de materiais, para a extração do chumbo o material triturado é depositado em um forno aquecido, esse processo irá extrair o chumbo e gerar a escória.

A bateria é um dos principais elementos de um veículo, e a reciclagem se tornou um meio viável para as empresas, pois para a fabricação de uma bateria nova necessita da extração das matérias primas, e para isso são necessárias permissões ambientais, porém a reciclagem também causa impacto ao meio ambiente, pela geração da escória.

Estudos vêm sendo feitos no Brasil para a utilização deste material em artefatos cerâmicos e de concreto, a área de construção civil, tanto na parte de edificações como pavimentações é o setor que mais pode empregar resíduos industriais em suas obras, devido que na maioria das vezes esses possuem características pozolânicas, são muito aplicados no cimentos Porthand para o ganho de resistência, já na pavimentação o CAP tem uma propriedade de envolver os materiais e encapsulá-los com suas toxinas e metais pesados, já são utilizados flocos de borracha, derivado da trituração de pneus, resíduo de areia de fundição (RAF) entre outros, infelizmente isso ainda é pouco, mas a tendência para o futuro é que isso mude devido aos grandes problemas ambientais.

Este estudo tem como objetivo analisar a adição da escória de chumbo em uma mistura asfáltica, com o intuito de encontrar uma forma de reaproveitamento sem que seja necessário causar algum impacto ao meio ambiente. O estudo será realizado em etapas, na primeira serão feitos ensaios de caracterização dos materiais tanto nos convencionais utilizados em pavimentos quanto no resíduo, a segunda terá como foco a modelagem dos corpos de prova, nessa etapa serão feitos quatro corpos de prova para cada teor de escória a ser adicionado, um deles será submerso em água destilada durante sete dias, e a terceira e última etapa será a análise química da água por lixiviação da escória incorporada nos corpos de prova, para posteriormente analisar o comportamento do resíduo quando empregado no traço de asfalto.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ESCÓRIA DE CHUMBO

A escória de chumbo é um resíduo industrial, que é obtido pela reciclagem de baterias, também conhecido com produção secundária de chumbo, as fontes primárias de chumbo secundário são sucata de chumbo, que são sucatas de baterias veiculares, escória de chumbo que são adquiridas como resíduos de outros processos metalúrgicos e invólucro de chumbo que são cabos telefônicos (SOBRAL *et al.*, 2012).

Os processos individuais envolvidos no processo de refino do chumbo são essencialmente os mesmos usados na produção primária de chumbo, embora as empresas tendem a realizar suas próprias adaptações. A remoção de impurezas metálicas depende da matéria prima

que está em processamento, por exemplo sucata de chapas de chumbo necessitam somente de refino, já a escória de chumbo necessita de um processo de fusão como uma etapa que antecede o processo da refinação (SOBRAL *et al.*, 2012).

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos segundo a Norma Brasileira Regulamentadora, NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) são que resultam de alguma atividade industrial, hospitalar, doméstica, comercial, agrícola, e entre outros, poder ser incluído também nesta definição lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e esgoto.

A classificação de um resíduo começa pela identificação do tipo de processo ou atividade que lhe deu origem e de seus constituintes com porcentagens de seus resíduos e substâncias que venham causar algum tipo de impacto ao meio ambiente ou a saúde das pessoas. A norma classifica os resíduos em duas classes a classe I, como resíduos perigosos e classe II que se divide em Tipo A (Não-inertes) e Tipo B (Inertes) (NBR 10004; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Os resíduos considerados perigosos são os que apresentam inflamabilidade, corrosão, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Enquanto que os não perigosos, não-inertes são resíduos que apresentam biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água e os inertes que são resíduos que não apresentam concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, exceto aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (NBR 10004; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

A escória de chumbo se enquadra na classe II da NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), como material que solubiliza em água.

## 2.3 AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO

Agregado é um termo genérico utilizado para denominar areias, pedregulhos e rochas minerais em seu estado natural ou britada. O material a ser escolhido deve apresentar propriedades que possam suportar tensões na superfície do pavimento e também em seu interior (BERNUCCI *et al.*, 2007).

Segundo Branco, Pereira e Santos (2008), quando se utiliza material granular na confecção de uma mistura asfáltica deve determinar certas características fundamentais, como a granulometria, resistência ao desgaste, forma das partículas, adesividade ao ligante e entre outras.

## 2.4 DOSAGEM

Pode-se dizer que a dosagem de uma mistura asfáltica é o processo no qual busca uma composição granulométrica de agregados com naturezas específicas além de uma adição

de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), de tal maneira que , após misturar à temperatura adequada e subsequente compactação, tais materiais formem um outro material que ofereça condições mecânica adequadas a suportar cargas que solicitam a um dado pavimento, consideradas as condições climáticas locais, a posição relativa da mistura na estrutura de pavimento etc., cujo material não deverá apresentar deterioração precoce (BALBO, 2011).

O método Marshall pode apresentar diversas alternativas para a escolha do teor de projeto de ligante asfáltico. Napa (1982 apud BERNUCCI *et al.* 2007) afirma que a escolha do teor de asfalto predominante para camadas de rolamento é baseada somente no volume de vazios, o que corresponde a 4%.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAS

Para a obtenção da mistura asfáltica foram utilizados materiais de origem pétreo sendo eles a brita I, pedrisco e pó de pedra, além do CAP. O estudo foi realizado para a análise dos resultados obtidos pela incorporação de uma escória proveniente da reciclagem de baterias (escória de chumbo).

Foram realizados diversos ensaios laboratoriais para caracterização do ligante e dos agregados utilizados na mistura. Estes classificados como agregados graúdos e miúdos. Também caracterizou o ligante utilizado CAP 50-70. Para a execução dos ensaios foram seguidas as normas vigentes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) para cada tipo de agregado. A escória de chumbo foi caracterizada através da análise granulométrica e sedimentação, densidade real e inchamento de areia.

#### 3.2 DOSAGEM DA MISTURA

Optou-se para esse trabalho, com os resultados obtidos no ensaio de granulometria a utilização da faixa granulométrica C citada na norma DNIT - ES 031 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2006) para pavimentos com classificação de flexíveis, a faixa C foi a única que abrangeu todos os materiais constituintes da dosagem, e também é a mais comum utilizada em nossa região em obras de pavimentação com revestimento em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ), onde as características dos agregados pouco se diferem.

A mistura asfáltica a quente foi feita pelo método Marshall, onde seguiu-se as prescrições da norma DNIT - ME 043 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 1995). O teor ótimo adotado de CAP foi encontrado por Salla (2017), que fez um estudo com a utilização dos materiais que foram utilizados nesse estudo, para a definição do teor ótimo de CAP, ele trabalhou com as porcentagens de 4,0%, 4,5%, 5,0%, 5,5%, e 6,0%, para cada traço confeccionou-se 3 amostras.

Com o teor ótimo de CAP determinado, foram moldados os corpos de prova contendo a escória de chumbo, fazendo parte da mistura como adição com teores de 2,0%, 4,0%, 6,0% e 8,0%. Foram moldados quatro corpos, três a serem rompidos no estado seco, e um a ser rompido no estado seco, porém submetido a banho de água destilada durante sete dias, e mais quatro para a amostra branca (sem adição da escória), totalizando em 20 corpos de prova (Figura 1).

Figura 1 - Corpos de Prova



Fonte: os autores.

### 3.3 ENSAIOS QUÍMICOS

As obtenções dos resultados dos ensaios químicos foram através dos ensaios realizados nos laboratórios da Universidade do Oeste de Santa Catarina - Unoesc. Após o período de 7 dias a água solubilizada foi levada até o laboratório de saneamento no campus II na cidade de Joaçaba-SC onde foi realizado os ensaios de Ph e densidade, os demais ensaios como o de metais pesados foram realizados no laboratório de solos, localizado no campus de Campos Novos-SC.

#### 3.3.1 Obtenção de extrato de solubilidade

Um dos corpos de prova dos quatro moldados foi submetido ao ensaio de solubilidade, para a realização do ensaio foi feita algumas modificações nas recomendações da norma. Primeiramente foi colocado dois plásticos dentro de um balde, posteriormente foi adicionado aproximadamente 1 litro de água destilada, lacrou-se os plásticos por um período de 7 dias

(Figura 2(a)), em temperatura de aproximadamente de 25°C, esse processo aplicou-se em cada teor de prova totalizando cinco amostras a ser analisa, incluindo a amostra padrão (branca, sem resíduo), que tem como função servir para parâmetros na hora da análise dos metais pesados e fenóis.

Depois dos sete dias envazou a água solubilizada em recipiente de plástico lacrados, como demostra a Figura 2(b), em seguida encaminhou-se as amostras para os laboratórios.

Figura 2 - (a) Ensaio de solubilidade (b) Envasamento das amostras



Fonte: os autores.

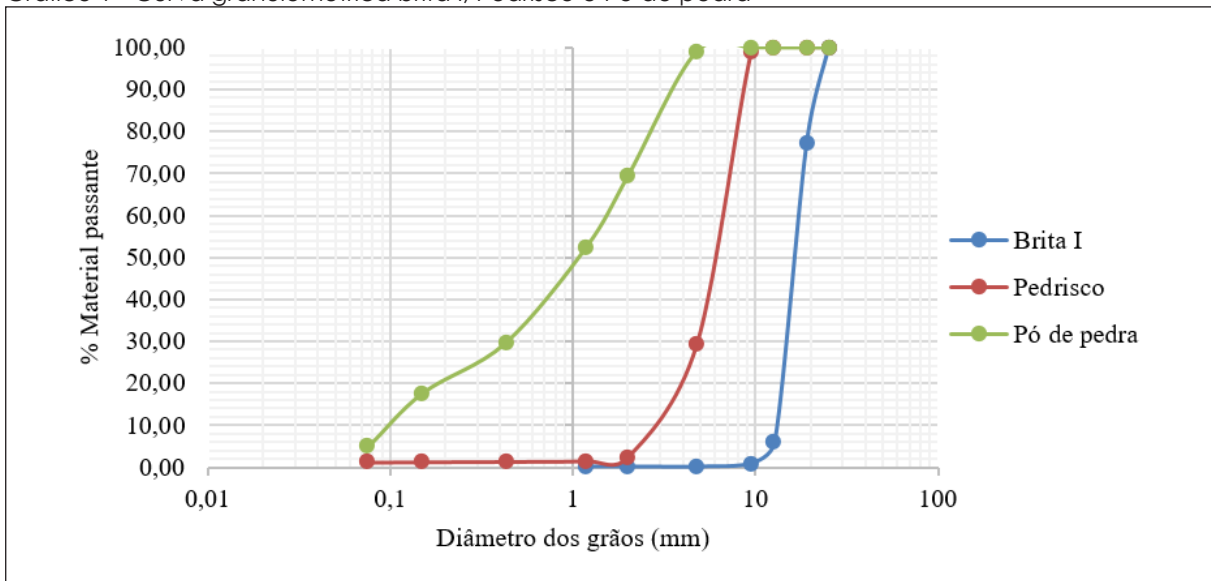
## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 4.1.1 Agregados

Pela norma DNITES–031 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2006), o agregado graúdo é o material com dimensões maiores que 2,0 mm, já o miúdo possui dimensões superiores a 0,075 mm e menores que 2 mm e o material fino onde pelo menos 65% das partículas são inferiores a 0,075 mm. Os resultados adquiridos pela granulometria atenderam as especificações citas pela norma como demonstrado no Gráfico 1.

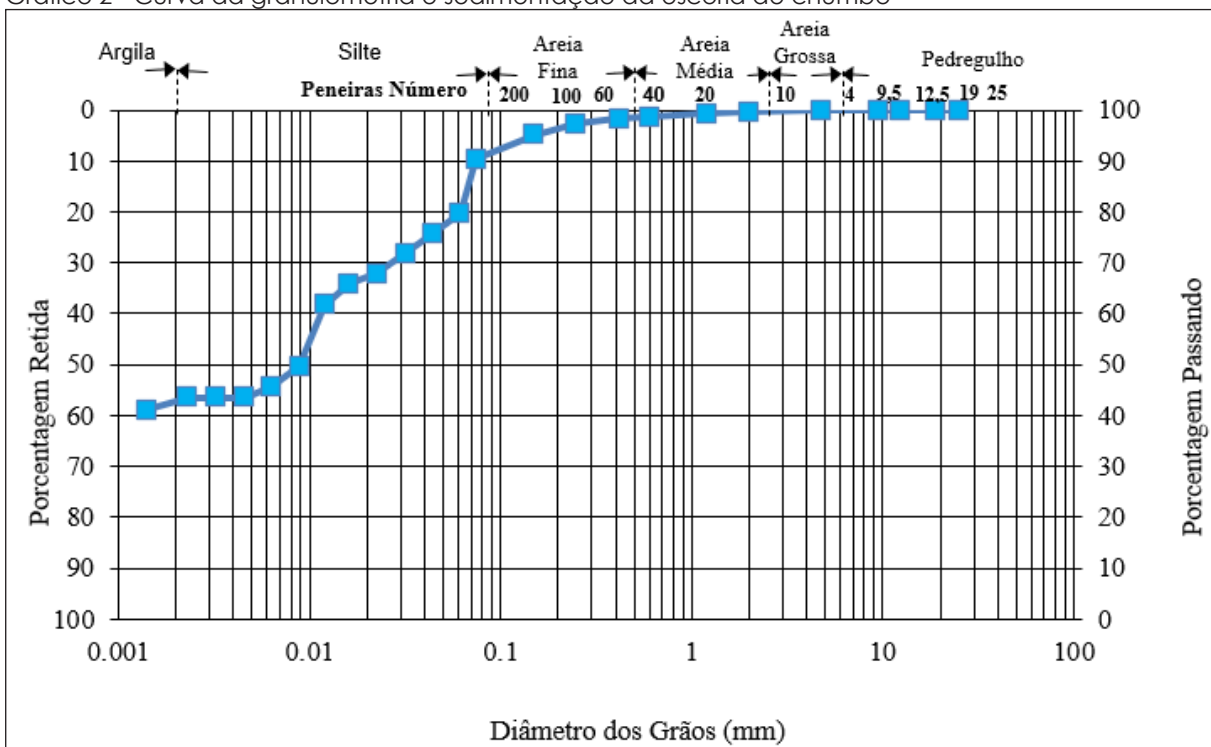
Gráfico 1 - Curva granulométrica brita I, Pedrisco e Pó de pedra



Fonte: os autores.

Os resultados encontrados na granulometria e sedimentação da escória de chumbo foram expressos no Gráfico 2. Com a granulometria e a sedimentação observou-se que a escória tem um percentual de aproximadamente 90% de material fino, passante na peneira 0,075mm.

Gráfico 2 - Curva da granulometria e sedimentação da escória de chumbo



Fonte: os autores.



Para obtenção da massa específica da escória foi realizado três testes, o primeiro pelo método de solos-determinação da densidade real, o segundo pelo método do frasco de *Le Chatelier*, e por último pelo ensaio da massa unitária dos agregados. Os valores obtidos nos dois primeiros ensaios foram insatisfatórios pois obtiveram uma massa muito elevada, o último ensaio resultou em um valor aceitável, então optou-se em fazer a média dos valores encontrados nos ensaios de *Le Chatelier* e da massa unitária, os valores obtidos nos ensaios estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1 - Massa específica da escória de chumbo

Método de ensaio	Valores dos ensaios	Media (g/cm <sup>3</sup> )
Le Chatelier (g/cm <sup>3</sup> )	2,77	1,96
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,17	

Fonte: os autores.

## 4.2 TRAÇOS COM TEORES DE ESCÓRIA DE CHUMBO

O teor ótimo de ligante utilizado foi de 4,90%. A Tabela 2 mostra as características referentes ao teor de CAP adotado para o traço padrão com adição de escória de chumbo, estão demonstrados também os valores de cada parâmetro calculado e os resultados obtidos com o rompimento por fluência e resistência à tração por compressão transversal (RTCD), optou-se para a geração dos gráficos a utilização das medias dos parâmetros de cada teor de escória adicionado ao traço padrão.

Tabela 2 - Média dos parâmetros de dosagem e resultados de rompimento dos corpos de prova

Parâmetros	Teores de escória de chumbo				
	0	2%	4%	6%	8%
Teor ótimo de ligante (%)	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
DMT	2,637	2,615	2,592	2,571	2,549
GMB	2,467	2,473	2,494	2,469	2,483
VV (%)	6,456	5,428	3,799	3,975	2,601
VAM (%)	18,544	17,544	16,019	16,071	14,768
RBV (%)	65,240	69,129	76,290	75,412	82,442
Estabilidade (kgf)	1390,321	1571,398	1459,943	1700,670	2207,827
Fluência (mm)	5,222	5,944	5,502	6,269	6,574
Resistência a Tração (MPa)	2,560	2,761	5,502	6,269	6,574

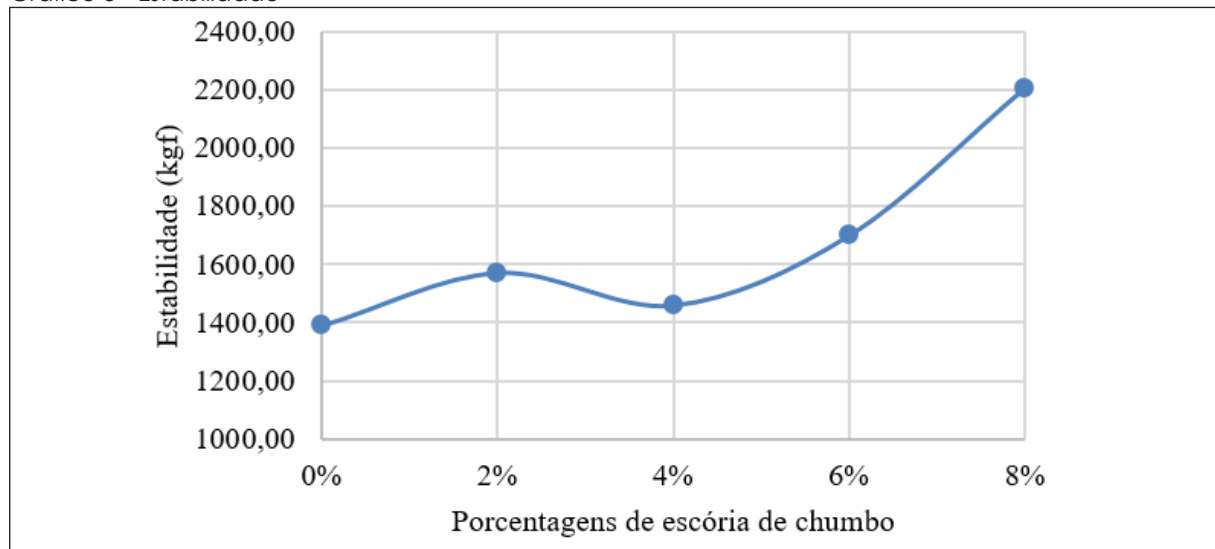
Fonte: os autores.

Em relação aos resultados obtidos na estabilidade e RTCD com a incorporação da escória de chumbo pode se observar nos Gráfico 3 e Gráfico 4 que houve um aumento significativo de forma benéfica ao pavimento em relação a amostra padrão, sendo assim a escória de chumbo é uma adição aceitável, melhorando as características mecânica de um pavimento.



Os resultados de estabilidade obtidos foram satisfatórios ficando acima de 500,00 kgf, como recomenda a norma DNIT - ES 031 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2006), a amostra com o melhor desempenho foi a com adição de 8% de escória como pode ser visto no Gráfico 3, isso é devido que quanto mais material fino como a escória mais homogênea a mistura fica, fazendo com que sua estabilidade melhore.

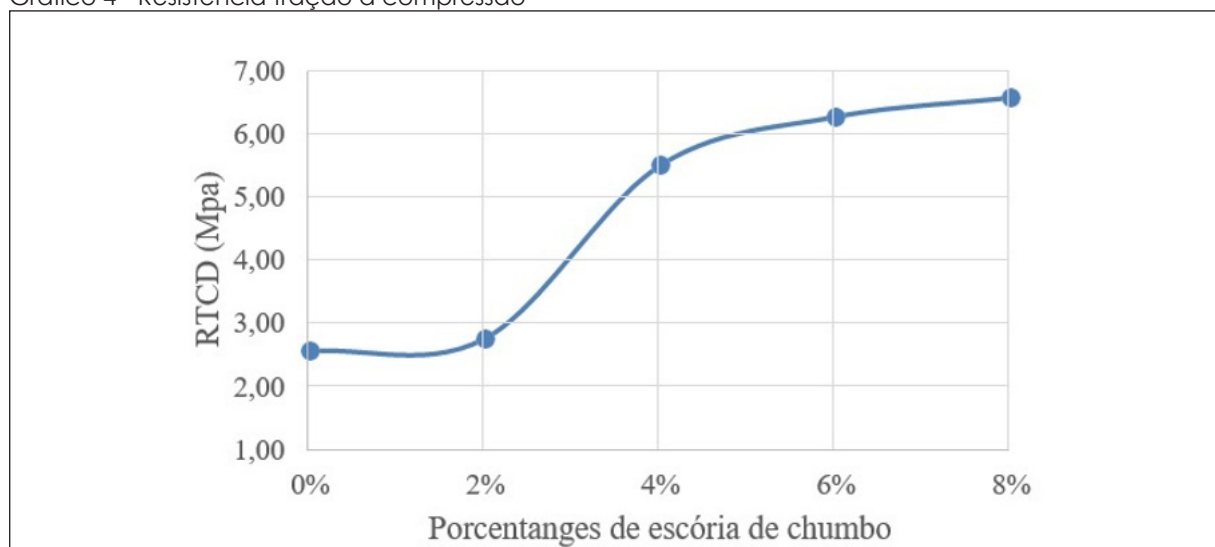
Gráfico 3 - Estabilidade



Fonte: os autores.

Como cita a norma DNIT – ES 031 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2006), as misturas precisam alcançar uma resistência tração a compressão diametral de no mínimo 0,65 MPa, como visto em todas as misturas com teores diferenciados de escória satisfizeram as especificações da norma, os resultados alcançados foram elevados em relação a amostra padrão, aproximadamente 4,00 MPa acima (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Resistência tração a compressão



Fonte: os autores.

Em relação aos outros parâmetros especificados pela norma DNIT - ES 031 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2006), somente os teores de 4% e 6% atenderam a todos, sendo assim, ambos os teores beneficiaram as características volumétricas do pavimento. Os teores indicados para utilização em pavimentos seria, portanto de 4% e 6%.

#### 4.3 ENSAIOS QUÍMICOS POR LIXIVIAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Após a desmoldagem e aferição das alturas e diâmetros dos CPs, foram realizados os ensaios químicos em um corpo de prova para cada teor de escória de chumbo adotado, inclusive na amostra branca para se ter um comparativo de dados. Para o estudo químico foram escolhidos oito metais presentes na escória de chumbo, sendo o Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Nitrato (NO<sub>3</sub>) e o Zinco (Zn), além dos estudos dos metais foram analisados a densidade das amostras e o Ph. Os laudos dos ensaios foram enviados pelos laboratórios, os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 3.

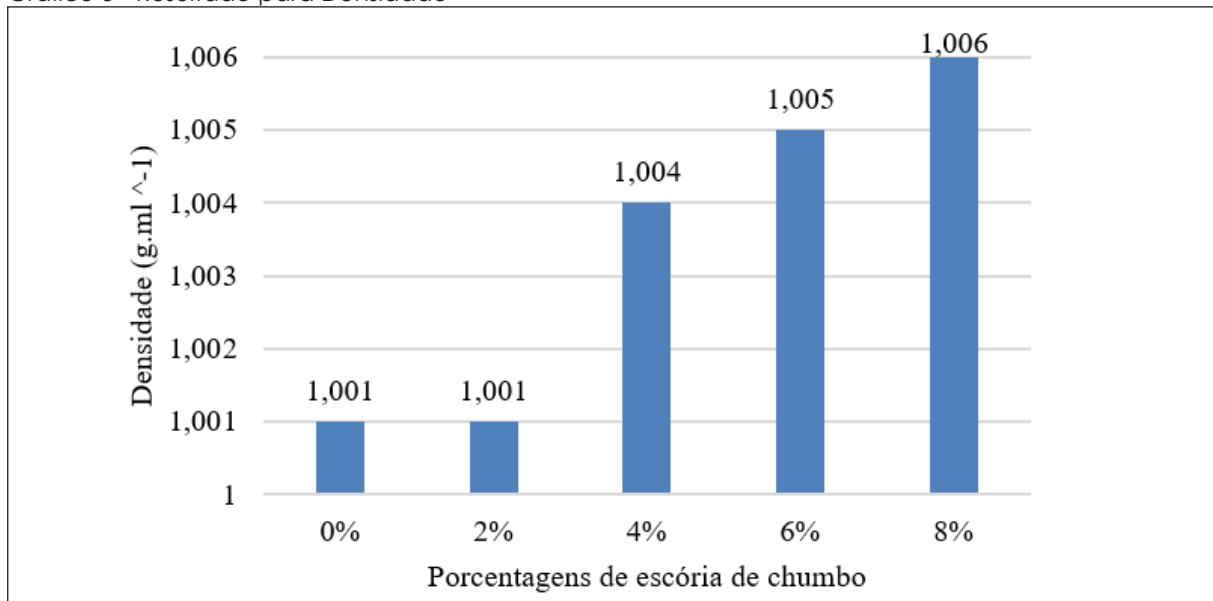
Tabela 3 - Resultados ensaios químicos

Parâmetros	Limites NBR/1004	0%	2%	4%	6%	8%
Densidade (g.mL <sup>-1</sup> )	-	1,001	1,001	1,004	1,005	1,006
pH	-	7,30	9,00	8,90	9,20	9,10
Alumínio (mgAl.L <sup>-1</sup> )	0,2	0,022	0,0465	0,031	0,048	0,031
Cálcio (mgCa.L <sup>-1</sup> )	-	0,43	6,13	18,2	14,3	16
Chumbo (mgPb.L <sup>-1</sup> )	0,01	0,17	0,24	0,32	0,64	0,43
Cobre (mgCu.L <sup>-1</sup> )	2,0	0,02	0,96	1,95	6,62	2,35
Cromo (mgCr.L <sup>-1</sup> )	0,05	0,08	0,08	0,08	0,09	0,11
Ferro (mgFe.L <sup>-1</sup> )	0,3	0,67	0,82	0,81	3,79	2,65
Nitrato (mgNO <sub>3</sub> -N.L <sup>-1</sup> )	10	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Zinco (mgZn.L <sup>-1</sup> )	5,0	0,06	0,08	0,08	0,16	0,13

Fonte: os autores.

O Gráfico 5 representa a densidade obtida nos CP's da amostra padrão e dos com adição de escória, o qual não possui parâmetro especificado em norma, portanto os resultados foram satisfatórios pois os resultados obtidos não obtiveram uma diferença significativa em relação a amostra padrão, o aumento da densidade se deve a adição de material fino, no caso a escória de chumbo.

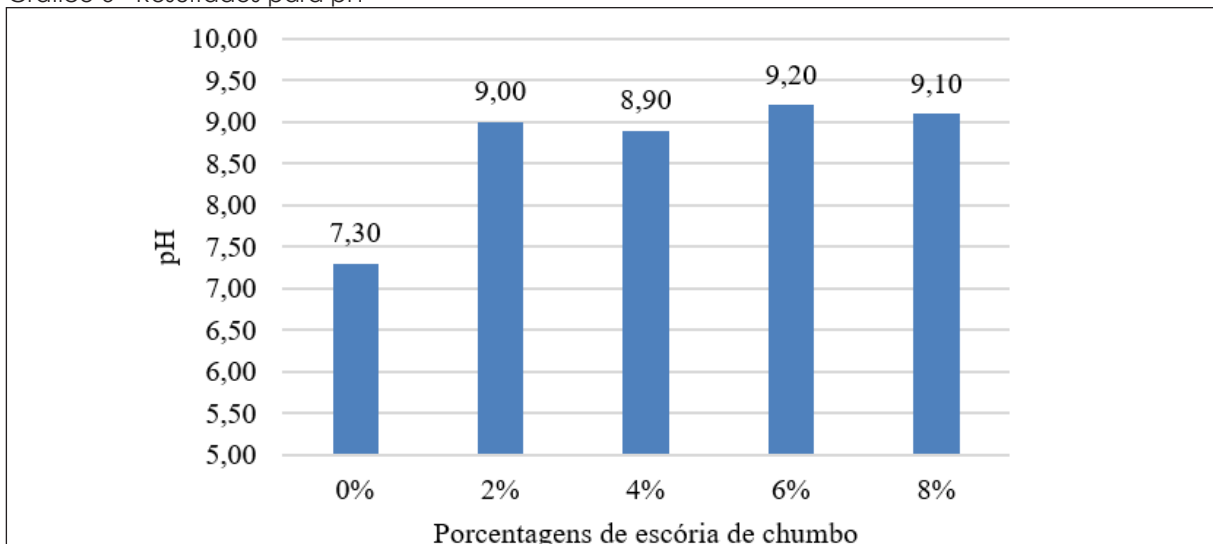
Gráfico 5 - Resultado para Densidade



Fonte: os autores.

Os valores de pH (Gráfico 6) obtiveram valores satisfatórios em relação ao estipulado pela NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), que cita como faixa de enquadramento de 2 a 12,5, resultados acima de 12,5 os sólidos que estão sendo classificados são considerados como materiais corrosivos. O aumento do pH se deve pela presença dos metais pesados que tem propriedades alcalinas.

Gráfico 6 - Resultados para pH

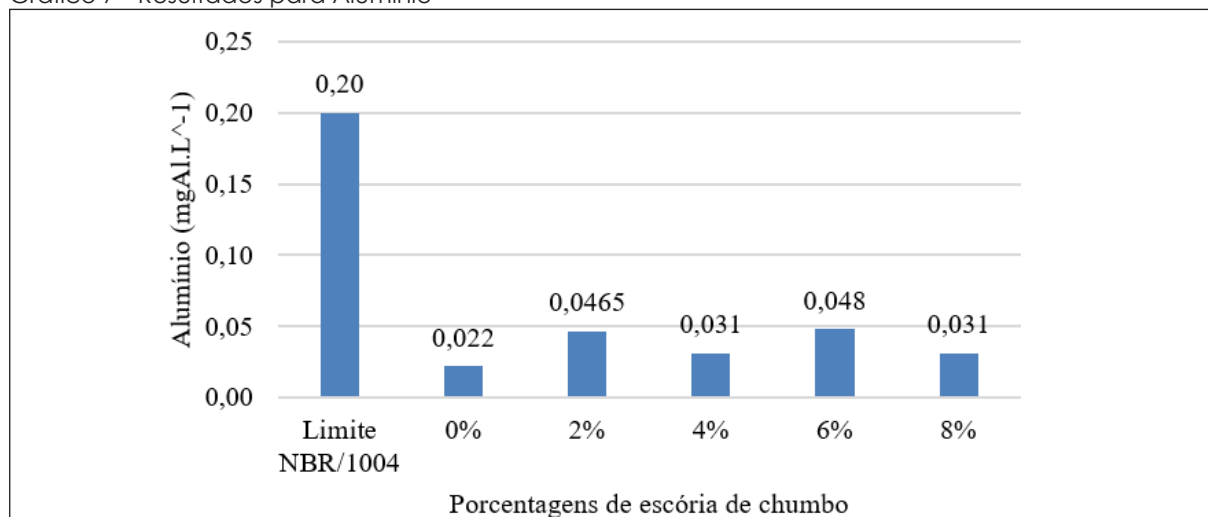


Fonte: os autores.

Os resultados para o alumínio (Gráfico 7) foram satisfatórios pois os valores para cada teor deram abaixo do especificado pela norma. Pois o alumínio em grandes quantidades pode trazer sérios danos ao meio ambiente e a saúde de pessoas e animais, o alumínio em excesso em um pavimento pode contaminar tanto o solo, inibindo o crescimento de

plantas, como lençóis freáticos pela lixiviação do mesmo por percolação de água pluvial do pavimento até o solo.

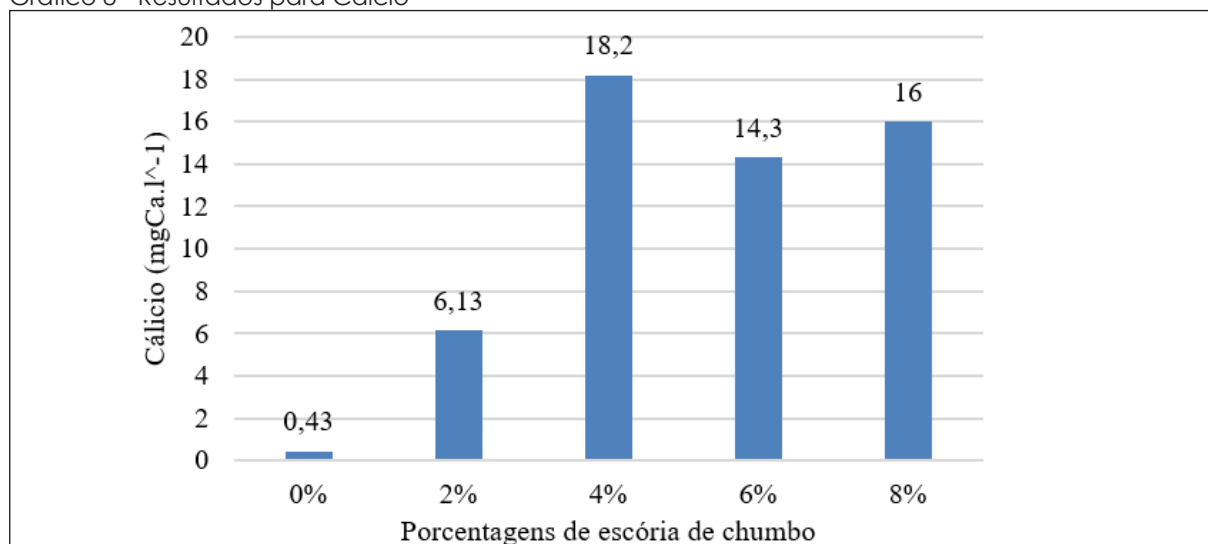
Gráfico 7 - Resultados para Alumínio



Fonte: os autores.

Os resultados encontrados para o Cálcio (Gráfico 8) em comparação com a amostra padrão são relativamente altos o teor de 4% teve a maior diferença entre todos os teores com um aumento de 5,7 mgCa.l<sup>-1</sup>. Os altos teores de cálcio em contato com lençóis freáticos podem elevar a dureza da água causando sérios problemas de saúde em possíveis consumidores.

Gráfico 8 - Resultados para Cálcio

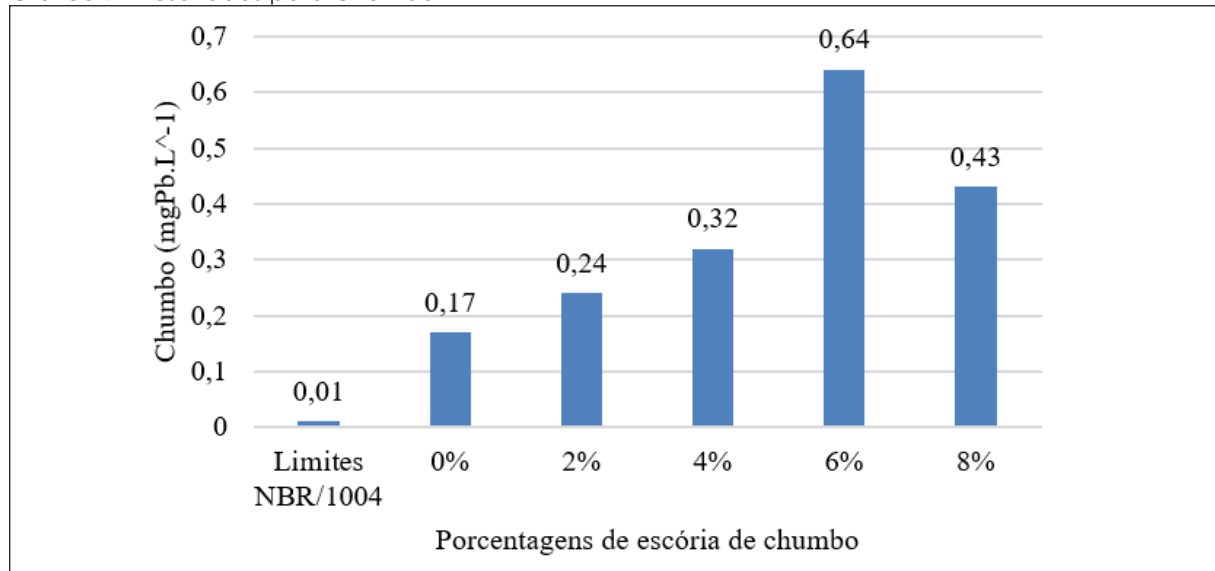


Fonte: os autores.

Para os resultados obtidos nos ensaios do chumbo (Gráfico 9), notou-se que houve o aumento significativo nos CPs com adição da escória. O excesso de material como chumbo pode causar sérios danos ao meio ambiente como poluição de mananciais, lençóis freáticos e

solo, conseqüentemente vem causar danos à saúde das pessoas pelo consumo de alimentos produzidos em solos contaminados, ingestão de águas poluídas, isso se dá pelo seu efeito bioacumulativo.

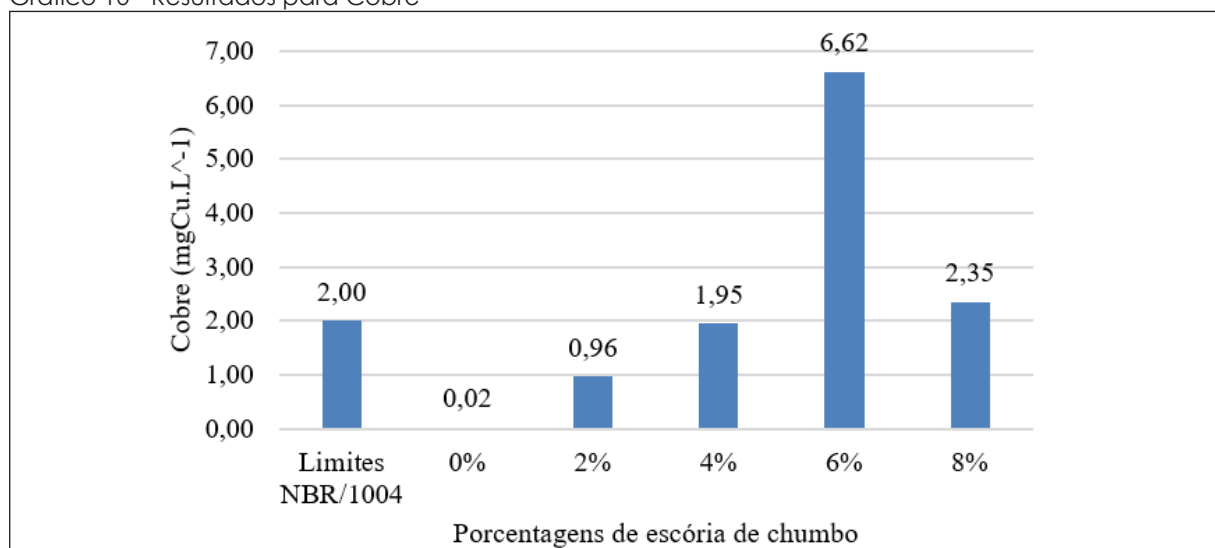
Gráfico 9 - Resultados para Chumbo



Fonte: os autores.

Os resultados obtidos do cobre presente no Gráfico 10 referente ao cobre, possui os teores de 0% de escória, 2% e 4% que atenderam aos parâmetros da norma NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), os resultados que deram a acima do estipulado pela norma foram os com 6 a 8%. A poluição por cobre é prejudicial ao meio ambiente poluindo tanto o solo como a água.

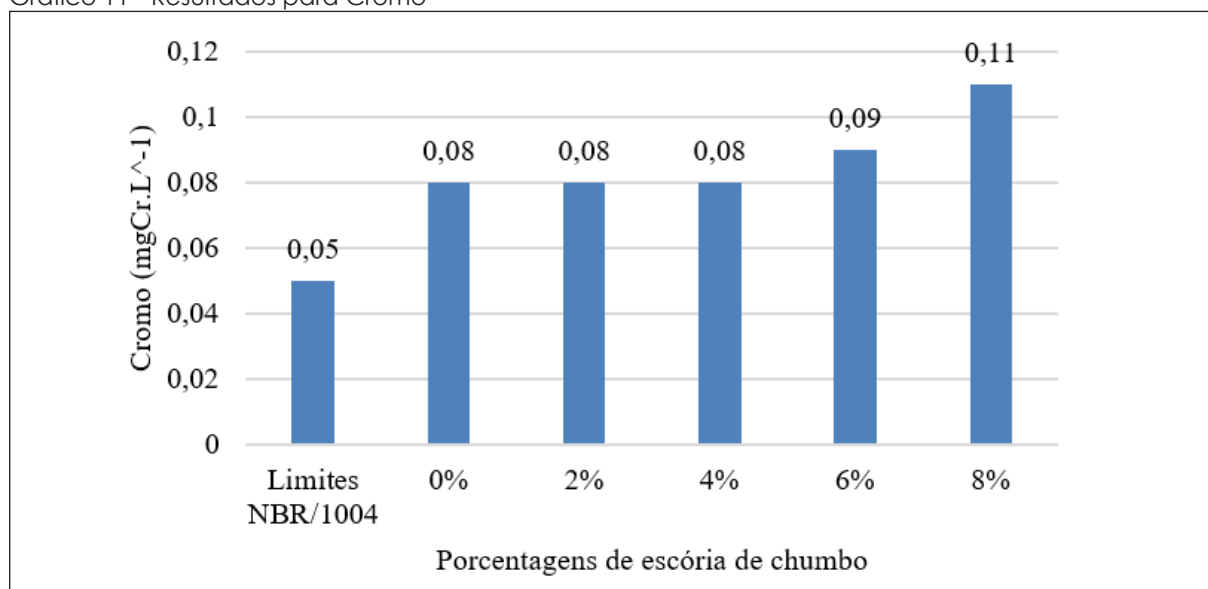
Gráfico 10 - Resultados para Cobre



Fonte: os autores.

O Gráfico 11 apresenta os dados obtidos pela realização dos ensaios químicos do cromo, observou-se que os resultados são superiores ao estipulado pela norma, o excesso de metais pesados na natureza causa sérios danos à saúde.

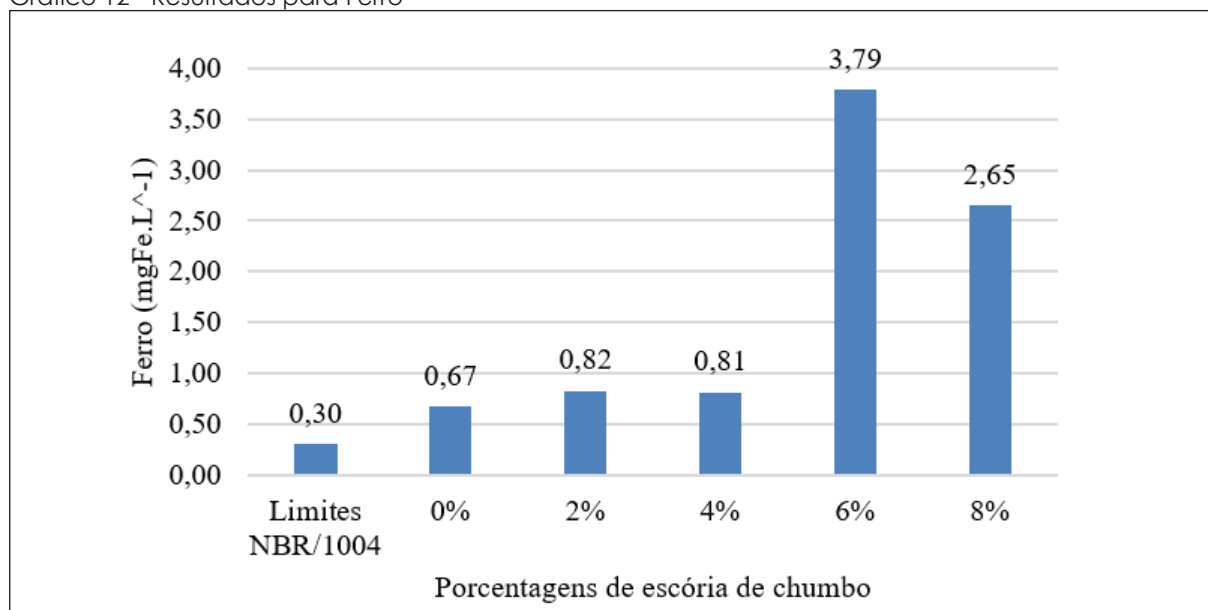
Gráfico 11 - Resultados para Cromo



Fonte: os autores.

Os teores de ferro (Gráfico 12) obtidos são bem superiores ao estipulado pela norma, porem os valores dos CPs de 6% e 8%, obtiveram valores muito alto, tendo um aumento de 3,12 mgFe.L<sup>-1</sup> em relação a amostra padrão na adição de 6%, e na adição de 8% o aumento foi de 1,98 mgFe.L<sup>-1</sup>.

Gráfico 12 - Resultados para Ferro

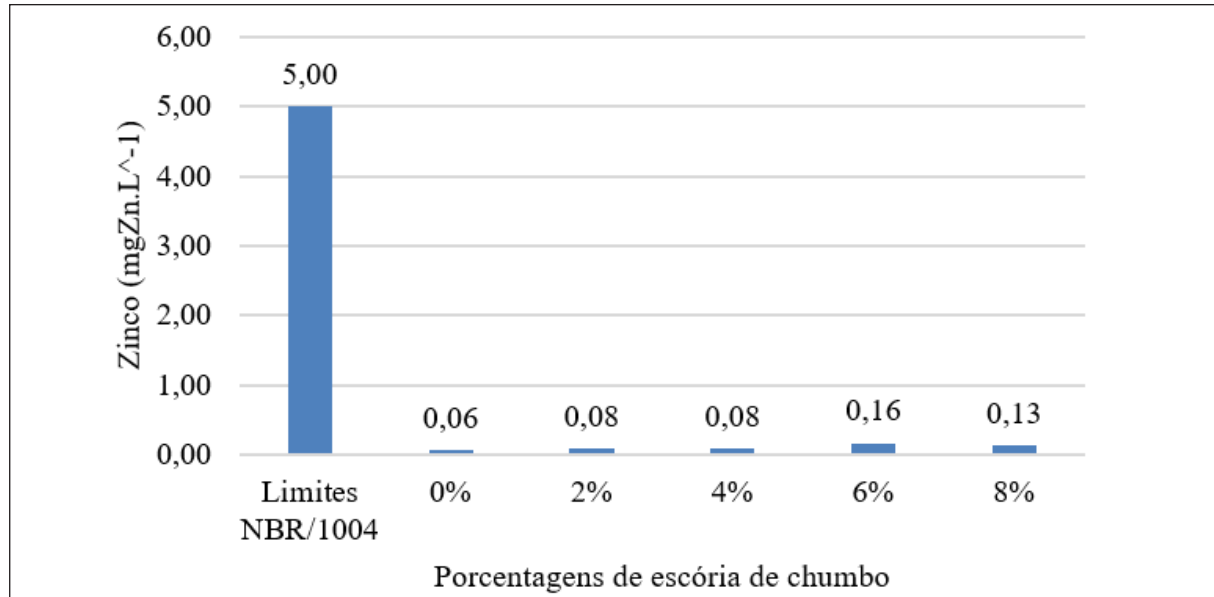


Fonte: os autores.

Para Nitrato os resultados encontrados nas amostras são valores inferiores ao estipulado em norma de  $10 \text{ mgNO}_3\text{-N.L}^{-1}$ , e ambos obtiveram resultados abaixo de 1,0.

Os resultados obtidos para Zinco (Gráfico 13) foram valores inferior ao estipulado pela NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Gráfico 13 - Resultados do Zinco



Fonte: os autores.

Com os resultados obtidos pelos ensaios químicos observou-se que o uso de escória no parâmetro químico não é satisfatório, pois somente o Zinco e o Alumínio atenderam aos parâmetros estipulados pela NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), os demais parâmetros representaram valores elevados, desta maneira não é recomendado a utilização da escória em pavimentos.

Ao longo dos gráficos com os resultados químicos, notou-se que algumas adições inferiores a adição máxima de 8%, obtiveram valores elevados em determinados parâmetros químicos, isso se deve aos aglomerados dos metais presente no meio da escória, sendo assim na hora da separação do material a porcentagem de partículas de determinado material pode ter sido maior que na outra, pois a escória não possui uma mistura homogênea de todos seus constituintes.

A utilização da escória em pavimentos poderia causar sérios problemas ao meio ambiente, causando poluições em massa, tanto no solo como na água de rios, lagos e lençóis freáticos. A poluição agravaria a saúde das pessoas pois os metais pesados possuem efeito biocumulativo, podendo estar presente em alimentos que foram cultivados em solo poluído e que foram irrigados com águas contaminadas e entre outros problemas.



## 5 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos a partir da adição de teores de 2%, 4%, 6% e 8% de escória de chumbo, resíduo proveniente de reciclagem de baterias automotivas, observou-se houve uma melhoria significativa nas características mecânicas e física da mistura. Os valores obtidos para a RTCD e a estabilidade foram satisfatórios, ficando todos acima dos limites normatizados, mas as amostras com os teores de 4% e 6% atenderam a todos os parâmetros especificados pela DNIT - ES 031 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2006).

Os resultados obtidos para Alumínio (Al), Zinco (Zn), foram satisfatórios ficando abaixo dos limites da norma, já o Cálcio (Ca), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Nitrato (NO<sub>3</sub>) obtiveram valores acima do estipulado normativamente. Os metais pesados que obtiveram uma diferença excessiva aos parâmetros estipulados pela norma foram o Ferro, Cobre, Chumbo e Cálcio. A escória, portanto, não é um material aplicável em pavimentos devido suas características químicas, para possível utilização teria que ser mudado o teor de CAP utilizado nas misturas, pois se aplicado assim os danos ao meio ambiente seriam grandes, causando poluição no solo, mananciais, lençóis freáticos, lagos e conseqüentemente causando sérios problemas de saúde as pessoas, pois os metais pesados possuem efeitos bioacumulativos.

Portanto a escória de chumbo é uma adição que apesar de melhorar as características mecânicas e físicas em pavimentos flexíveis, não é aplicável em campo pois seus efeitos químicos devido à grande concentração de metais pesados causariam danos ao meio ambiente e a saúde das pessoas graves.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 10004 - Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 558 p.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Joge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica**: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras. 2007. 501 p.

BRANCO, Fernando; PEREIRA, Paulo; SANTOS, Luís Picado. **Pavimentos rodoviários**. Coimbra: Almedina, 2008. 388 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - **ME 043 - Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall**. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRÂNSITO - **ES 031 - Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2006.

SALLA, Rodrigo Limana. **Incorporação de resíduo de areia de fundição em misturas asfálticas usinadas à quente**: Avaliação dos componentes presentes na água de solubilização. 2017. Trabalho de Estágio Supervisionado II (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Oeste de Santa Catarina, 2017. 101 p.

SOBRAL, Gonzaga dos Santos *et al.* **Metalurgia do chumbo**: processos de produção e refino. Santo Amaro, Rio de Janeiro, 2012.

