

# CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO DE INDÚSTRIA DE PEÇAS AUTOMOTIVAS<sup>1</sup>

Carlos Alberto Mendes Moraes<sup>2</sup>  
Alini Luisa Diehl Camacho<sup>3</sup>  
Daiane Calheiro<sup>4</sup>  
Feliciane Andrade Brehm<sup>5</sup>

## Resumo

O resíduo pó de exaustão (PE) oriundo do processo de fabricação de pastilha de freio possui em sua composição 20,20% de material orgânico e um alto teor de ferro. A partir da caracterização realizada e avaliação da escassa literatura sobre este tema, os resultados indicam que o resíduo não pode ser utilizado na construção civil, mais especificamente, em material cerâmico, pois estes processos utilizam altas temperaturas, o que geraria a volatilização dos compostos orgânicos, gerando uma retração muito grande na cerâmica, com possível aparecimento de trincas, o que inviabilizaria sua aplicação. Já, seu uso em outras aplicações pode ser possível, mas caracterizações mais aprofundadas devem ser realizadas para melhor avaliar a viabilidade de estudar a inserção deste material em blocos de pavimentação ou em misturas asfálticas ou ainda na recuperação de metais nobres presentes no PE.

**Palavras-chave:** Resíduo sólido; Pastilha de freio; Caracterização.

## CHARACTERIZATION OF SOLID RESIDUE OF AUTO PARTS INDUSTRY

### Abstract

The powder waste depletion (PE) originating from the manufacturing process of the brake pad has in its composition 20.20% of organic material and high iron content. From the characterization carried out and the evaluation of the literature about this task, the results suggest that PE could not be used, for example, as raw material to ceramic material, because this process involves high temperature, which would provoke the volatilization of organic compounds, generating a strong retraction of ceramic with also a high probability of cracks. This situation would not permit its application. On the other hand, from the analysis it could be possible to study its recycling as addition to pavement blocks or asphalt mixture, however, it must be used other techniques of characterization to evaluate such possibility, and also to recover important metals contained in the PE.

**Key words:** Solid waste; Brake pad; Characterization.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Membro da ABM, Eng. Metalúrgico, Prof. Dr., Programa de Pós Graduação em Eng. Civil, Núcleo de Caracterização de Materiais (NucMat), Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), Brasil.

<sup>3</sup> Graduanda em Gestão Ambiental, NucMat, Laboratorista LCVM, Unisinos, Brasil.

<sup>4</sup> Gestora Ambiental, Pesquisadora, Mestre, NucMat, Unisinos, Brasil.

<sup>5</sup> Química, Profª. Drª., Programa de Pós Graduação em Eng. Civil, NucMat, Unisinos, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos sólidos industriais como matéria-prima no desenvolvimento de produtos tem aplicações externas ao processo gerador do resíduo, como por exemplo, materiais de construção. Esta é uma opção que tem sido muito estudada, mas com relação ao resíduo sólido em estudo, não tem encontrado estudos pertinentes. No entanto, foram analisados comparativos de resíduos que pudessem dar o embasamento para o trabalho, no que tange a caracterização do mesmo no sentido de se conhecer melhor seus componentes.

Pastilhas de freio para sistemas de freios automotivos correspondem a um dos materiais compósitos mais complexos já que eles contêm muitos componentes, cada qual com uma grande variedade de propriedades físicas e químicas. Esses materiais são compostos por mais de doze diferentes constituintes, combinando as fases poliméricas, metálica e cerâmica.<sup>(1)</sup>

Em 1870 se iniciaram experiências usando sapatas de ferro fundido como elemento de freio. A necessidade de uma fibra que conferisse ao material de atrito boa resistência mecânica e que suportasse elevadas temperaturas levou Froot,<sup>(1)</sup> em 1908, a utilizar-se de tecidos a base de fibras de amianto. Com a proibição do uso do amianto em determinados países, devido à saúde ocupacional dos trabalhadores e usuários, as indústrias fabricantes de materiais de atrito iniciaram pesquisas com o intuito de se obter fibras alternativas ao amianto. Diferentes tipos de fibras alternativas são atualmente utilizadas como: fibras metálicas (fibras de aço, cobre e latão), fibras orgânicas (aramida e acrílica) e fibra carbono.<sup>(1)</sup>

De acordo com o relatório emitido pela Comissão Européia<sup>(2)</sup> durante a vida útil de uma pastilha de freio, normalmente cerca de 80% do material de fricção estará desgastado e a composição do material de atrito influenciará na taxa de desgaste do freio. Este desgaste gera partículas que são liberadas para o meio ambiente e que são emitidas como PM no ar correspondendo a 30%. Numa base microscópica as temperaturas são suficientemente quentes para fundir ferro e decompor muitos dos materiais de revestimentos dos freios que volatilizam durante a travagem e condensam-se na passagem do ar contribuindo para a fração de partículas pequenas.<sup>(3)</sup>

Para compor esses materiais compósitos além de fibras, também são acrescentados à composição lubrificantes sólidos como o grafite e sulfetos metálicos usados para estabilizar o coeficiente de atrito. Também são adicionados abrasivos que incluem óxido de zircônio, silicato de zircônio, óxido de alumínio calcinado ou fundido, óxido de magnésio e óxido de cromo que aumentam o coeficiente de atrito e aumentam a taxa de desgaste do material além de removerem o óxido de ferro formado durante a frenagem. As cargas adicionadas aos materiais de atrito melhoram a reprocessabilidade. Podem ser orgânicas (pó de caju e o pó de borracha) com o objetivo de reduzir o ruído de frenagem, ou inorgânicas. As mais usadas são a barita (sulfato de bário), mica, vermiculita e o carbonato de cálcio (mineralita) onde a principal propriedade é que possuem ponto de fusão relativamente alto.<sup>(1,2)</sup>

A maioria dos materiais de atrito sem amianto aplicados na indústria automobilística mundial emprega compósitos de matriz polimérica em função de seu baixo custo, utilizando em sua matriz resinas fenólicas ou borrachas, fibras de reforço e materiais particulados para regular o nível de atrito e taxa de desgaste.<sup>(4)</sup>

O processo de fabricação das pastilhas de freio pode ser realizado por mistura seca onde todos os constituintes estão no estado sólido no formato de pós, partículas e fibras de pequeno tamanho sendo realizado por prensagem a quente. Pode ser feito

também por mistura úmida onde todos os pós e resinas são misturados com uma resina líquida e/ou uma solução de borracha líquida sendo necessária adição de calor e pressão para conformação do produto com pressão a frio. Após um tratamento térmico em fornos e por último, na fabricação de fios ou tecidos impregnados com resina líquida e outros componentes.<sup>(1)</sup>

Os resultados da *Characterisation of Exhaust Particulate*<sup>(2)</sup> mostram que quantidades significativas de cobre (até 14% em massa) e ferro (até 40% em massa) podem estar presentes na composição do freio.

Engberg<sup>(5)</sup> relata a dificuldade de se obter informações sobre as composições das pastilhas de freio. Acredita-se que há potencial para uma abordagem voluntária para frear as reformulações uma vez que estão sempre se modificando, criando parcerias entre agências governamentais reguladoras e os fabricantes. Tendo em vista a preocupação na regulação de pastilhas de freio para proteger a saúde humana e meio ambiente.

Calmon<sup>(6)</sup> argumenta que a indústria cerâmica é uma grande incorporadora de resíduos industriais porque possui elevado volume de produção, além de tornarem uma grande opção de reciclagem de resíduos sólidos por possuírem características físico-químicas das matérias primas cerâmicas.

As formas de reciclagem de resíduos sólidos industriais contendo compostos metálicos e óxidos de cálcio mais usuais são a recuperação metálica por beneficiamento na empresa (reciclagem interna) e o uso, por exemplo, em pavimentação, cimento e concreto (reciclagem externa) desde que seja controlada a expansibilidade.<sup>(7)</sup> A causa da expansão ocorre, principalmente, devido a presença de óxido de cálcio (CaO) livre que são responsáveis pela expansão a curto prazo, quando é transformada em presença de umidade em cal hidratada, e óxidos de magnésio (MgO) reativo que é responsável pela expansão a longo prazo, devido a suas reações serem mais lentas. Não são todos os casos, somente os que se encontram de forma livre, sem estarem combinados. Quando hidratados, ocorre aumento de volume, ou seja, a expansão do material.<sup>(8)</sup>

Os materiais cerâmicos são frequentemente, óxidos, nitretos e carbetos. São compostos entre os elementos metálicos e não-metálicos, para os quais as ligações interatômicas ou são totalmente iônicas ou parcialmente iônicas com alguma natureza covalente.

Teixeira<sup>(9)</sup> estudou o efeito da incorporação de lodos de estação de tratamento de água nas propriedades de material cerâmico estrutural. Comprovou que esta adição, principalmente do lodo que possui alto teor de ferro em sua composição pode ser incorporado até 20% à massa cerâmica para temperaturas de queima a partir de 950°C.

Hoppen<sup>(10)</sup> constatou que lodo de estação de tratamento de água contendo alto teor de ferro em sua composição, com 49,79% de matéria orgânica e adicionado até 5% pode ser aplicado em situações que vão desde a fabricação de artefatos, blocos e peças de concreto (como placas de estai para redes de distribuição de energia elétrica, tampas de concreto para coberturas de fossas e caixas de passagem, e pedestais para apoio de equipamentos) até a construção de pavimentos em concreto de cimento Portland (pavimento rígido).

De acordo com Oliveira<sup>(11)</sup> uma incorporação de um resíduo com valor aproximado de 60% de óxido de ferro pode ser reaproveitado como constituinte de massas cerâmicas para fabricação de cerâmicas vermelhas tais como tijolos maciços, blocos cerâmicos e telhas, empregados na construção civil.

O resíduo adicionado contribui para a redução das propriedades plásticas das massas cerâmicas, indicando que o mesmo constitui-se num material não-plástico. As propriedades mecânicas são influenciadas pela temperatura de queima. O efeito da temperatura de queima é mais apropriado, principalmente, acima de 950°C devido ao maior grau de sinterização dos corpos cerâmicos.<sup>(11)</sup>

O pó de exaustão gerado através da fabricação de moldes de areia verde para produção de peças metálicas nas indústrias de fundição possui em sua composição química cerca de 33% de matéria orgânica. Ribeiro<sup>(12)</sup> observou que o pó deve ser queimado antes de sua incorporação na cerâmica devido ao alto teor de matéria orgânica, para evitar o surgimento de vazios/poros na cerâmica, ocasionado pela volatilização de gases provenientes de componentes voláteis na mistura. Este fenômeno é denominado “coração negro” e refere-se ao núcleo escuro que aparece no interior de pisos e outros produtos cerâmicos.

Martins<sup>(13)</sup> apresenta alternativas para reaproveitar resíduos sólidos, onde alguns resíduos em especial como pó de exaustão, pó de jateamento, pó de esmerilhamento, pó de varrição da indústria metal mecânica em processos siderúrgicos por possuírem granulometria baixa alto teor de ferro em sua composição podem ser usados para a produção de briquetes. Estes briquetes são resultados da compactação destes resíduos beneficiados, não necessitam de altas temperaturas para o processo fabril e são fabricados com a adição de percentual de carbono que possibilita a redução de formação de óxidos, maximiza o aproveitamento metálico e reduz a formação de escória.

Na área da engenharia civil, o setor de blocos de concreto para pavimentação tem demonstrado um grande potencial de expansão de mercado, tanto na pavimentação de vias de tráfego intenso como também na urbanização de cidades como elementos de paisagismo.

Em sua dissertação, Pagnussat<sup>(14)</sup> comprova que a utilização da escória granulada de fundição (EGF) como substituinte parcial do cimento não gera diferenças significativas quando na substituição de até 50% do cimento por EGF, na questão de desgaste por abrasão e absorção de água. Por outro lado, nota-se um decréscimo das resistências mecânicas à compressão, à medida que se aumenta o teor de escória. Desse modo, pode-se sugerir que os teores de até 10% podem cumprir características de resistência bastante próximas de um concreto convencional.

Segundo Almeida,<sup>(15)</sup> a adição de resíduo siderúrgico no concreto é evidenciada na substituição de 12,5% sendo o mais indicado por apresentar uma resistência à compressão de 26 mPa, uma absorção de 5% e não ter uma perda de massa significativa comparativamente ao concreto de referência.

Machado<sup>(16)</sup> verificou transformações volumétricas na escória de aciaria resfriada lentamente pelas diferenças de volume molar dos produtos de oxidação e corrosão em relação à forma metálica ( $Fe^0$ ), chegando a valores de expansão de 77% (variação de volume na mudança de fase do  $Fe^0$  para  $Fe_2O_3$ ).

O potencial de oxidação do ferro no PE é um tema pouco explorado, pois segundo o Relatório de Sustentabilidade 2008 do IBS,<sup>(17)</sup> este resíduo representa somente 13% do total dos resíduos gerados na indústria metal-mecânica. Os mecanismos, bem como métodos de ensaio devem ser adequadamente investigados, buscando a melhor forma de obter em laboratório resultados que reproduzam a realidade do fenômeno.

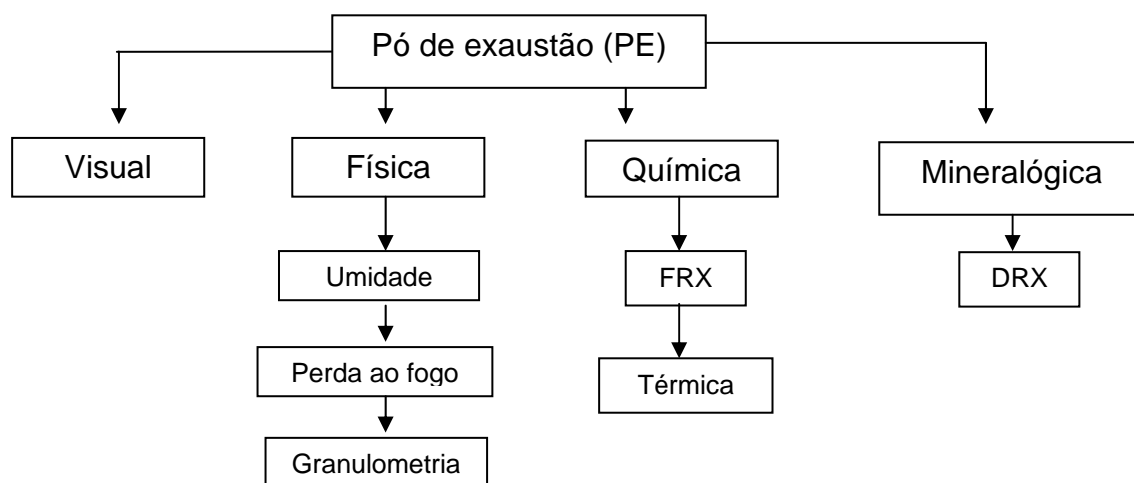
No presente trabalho é apresentada uma caracterização física e química do resíduo proveniente da fabricação de peças automotivas, em especial, pastilhas de freios. As técnicas utilizadas foram determinadas para analisar a composição química,



determinação do teor de matéria orgânica presente no resíduo bem como o teor de umidade. Além disso, foi analisado pela técnica de Difração de raios X para identificar estrutura físico-química e análise térmica. Com essa caracterização pode-se conhecer melhor a estrutura físico-química e mineralógica deste resíduo e, conseqüentemente, sua aplicação pode ser viável em blocos de pavimentação ou em misturas asfálticas, desde que, seja realmente comprovado através de ensaios pilotos para ver o comportamento deste resíduo nestes materiais.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Todos os métodos utilizados para realizar a caracterização do PE estão apresentados a seguir conforme fluxograma (Figura 1).



**Figura 1.** Metodologia utilizada para a caracterização do PE.

O PE é visualmente um pó de granulometria muito fina, com coloração acinzentada, odor característico do componente ferro e possui propriedade higroscópica (Figura 2).



**Figura 2.** Resíduo pó de exaustão.

Para a caracterização físico-química do material foram realizados ensaios conforme segue.

## **2.1 Determinação da Composição Química**

A determinação da composição química foi feita através do ensaio de Fluorescência de Raios-X (FRX). Esta técnica é não-destrutiva para todos os tipos de amostras.<sup>(18)</sup> O equipamento utilizado é um Espectrômetro de Fluorescência de raios X por Energia dispersiva, marca EDX 720 HS - Shimadzu do Brasil Comércio Ltda.

## **2.2 Perda ao Fogo**

Quantifica o material orgânico existente na amostra, como por exemplo: carbono livre e dióxido de carbono proveniente dos hidratos e dos carbonatos, bem como água combinada. Este ensaio foi realizado de acordo com a norma CEMP n° 120.<sup>(19)</sup> A perda ao fogo consiste em colocar 1 g de amostra, previamente seca em estufa, a 105°C, em forno mufla a 950°C, durante 3 horas. Após, o material é pesado até atingir massa constante. A diferença do peso inicial e final é o resultado da análise.

## **2.3 Determinação de Umidade**

O ensaio consiste em quantificar a água contida na amostra por processo de aquecimento controlado. O teste está de acordo com a norma CEMP n° 105.<sup>(20)</sup>

## **2.4 Distribuição Granulométrica**

Realizado de acordo com a Norma CEMP 081 - Determinação da distribuição granulométrica e módulo de finura<sup>(21)</sup> consiste em utilizar um conjunto de peneiras padronizadas pela ABNT e calcular a massa do material retido em todas as peneiras. O resultado é expresso em porcentagem em relação à massa total de amostra. O coeficiente de distribuição é a soma das três peneiras consecutivas que mais apresentam material retido. Denominam-se finos ao valor percentual retido nas duas últimas peneiras mais o prato. O módulo de finura corresponde ao valor resultante da soma da porcentagem retida acumulada nas peneiras da série normal citadas anteriormente, divididas por 100. O módulo de finura quantifica se o material é mais grosso ou mais fino, sendo que quanto maior o módulo de finura mais grosso é o material.

## **2.5 Difração de Raios X**

A técnica de difração de raios X foi utilizada para a determinação das fases cristalinas onde estão presentes os elementos químicos. Quando o feixe de raios X difrata em um cristal desconhecido, a medida do ângulo de difração do raio emergente pode elucidar a distância dos átomos no cristal e, conseqüentemente, a estrutura cristalina. Através do uso de um dispositivo capaz de detectar os raios difratados, pode-se traçar o desenho da rede cristalina, a forma da estrutura gerada pelo espalhamento que refletiu e difratou os raios X, gerando o difratograma. Para a preparação da amostra, o material após ter removido a umidade foi moído manualmente em gral de ágata até granulometria menor que peneira 200. Em seguida foi realizada a difratometria de raios X, equipamento da marca Siemens modelo 5000.

## 2.6 Análise Térmica

Na análise térmica foram empregadas a Termogravimetria (TG) e Análise Térmica Diferencial (ATD). Estas análises são métodos complementares as outras análises para auxiliar na identificação de compostos gerados a partir dos elementos identificados na amostra, assim como avaliar fenômenos resultantes de transformações químicas ou físicas. Ambas as análises foram realizadas no Laboratório de Materiais de Construção da Unisinos com o Sistema de Análise Térmica modelo RB \* 3000 \* 20 fabricado pela BP Engenharia Indústria e Comércio Ltda.

## 3 RESULTADOS

Os resultados analíticos qualitativos para o ensaio de fluorescência de raios X (FRX), que indicam os elementos químicos inorgânicos presentes no resíduo estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resultados de FRX

<b>Elemento Majoritário</b>	<b>Elementos em menor quantidade</b>	<b>Elementos traços</b>
Ferro (Fe)	Cálcio (Ca), Bário (Ba), Silício (Si), Enxofre (S), Zinco (Zn), Zircônio (Zr), Cobre (Cu) e Alumínio (Al)	Potássio (K), Estrôncio (Sr) e Cromo (Cr)

Os resultados da quantidade de matéria orgânica presente no resíduo e da umidade em sua composição estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Resultados de perda ao fogo e umidade

<b>Perda ao Fogo</b>	<b>Umidade</b>
20,20%	1,13%

A distribuição granulométrica do resíduo está apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3.** Distribuição granulométrica

<b>Número da Peneira (ABNT)</b>	<b>Malhas (MM)</b>	<b>% Retido em cada malha</b>
4	4,75	0,013
6	3,35	0,008
12	1,70	0,243
20	0,85	0,718
30	0,60	0,908
40	0,42	2,745
50	0,30	6,533
70	0,21	17,418
100	0,15	16,740
140	0,107	19,338
200	0,075	16,165
270	0,053	9,990
300	Prato	9,553

Módulo de Finura: 45,73 ABNT

Teor de Finos: 35,71%

Coeficiente de Distribuição: 53,50%

Para uma melhor análise foi construído o gráfico com os valores da Tabela 3 conforme Figura 3.

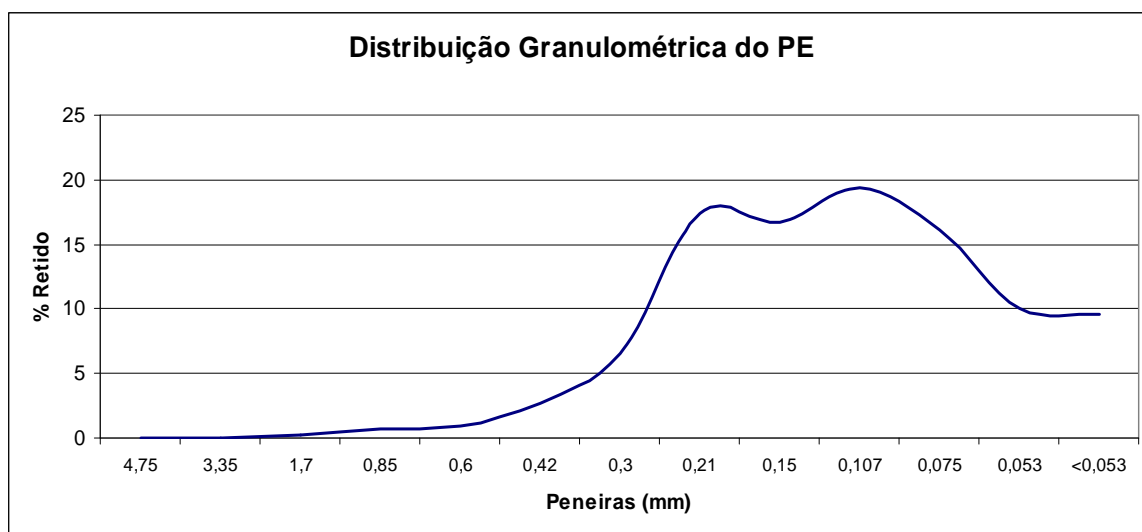


Figura 3. Resultados da distribuição granulométrica.

O resultado da composição de fases da análise de difração de Raios-X (DRX) do PE está apresentado na Tabela 4 e o difratograma da amostra com os picos identificados está apresentado na Figura 4.

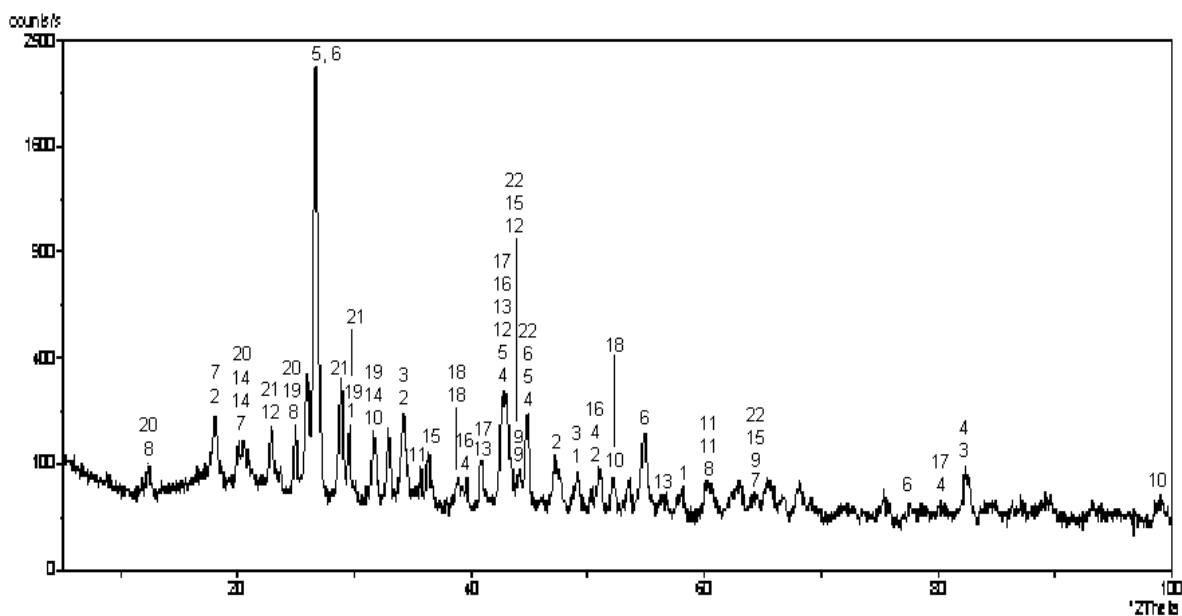


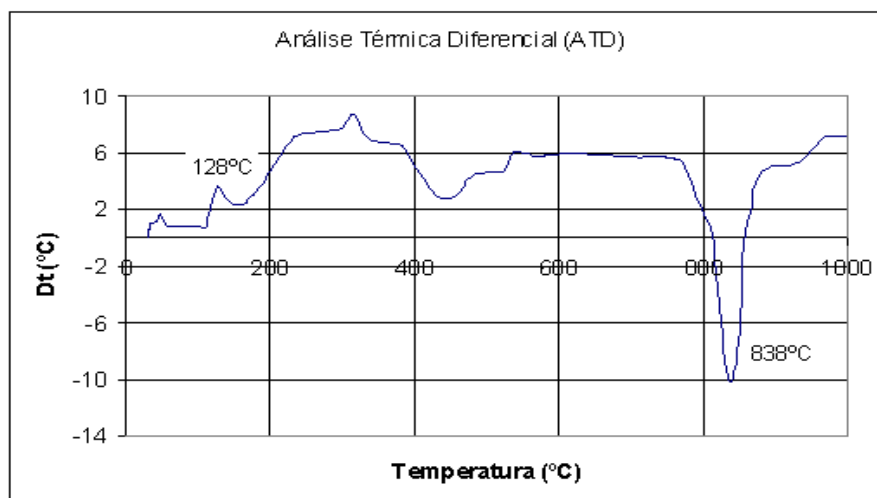
Figura 4. Picos encontrados no difratograma do PE.



**Tabela 4.** Fases encontradas na amostra

Picos	Fórmula	Nome do composto
1	$\text{CuFeS}_2$	Calcopirita
2	$\text{Ca(OH)}_2$	Portlandita, syn Óxido de cálcio
3	$\text{MnS}$	Alabandita – Sulfeto de manganês
4	$\text{Cr}_7\text{C}_3$	Carbeto de cromo
5	$\text{C}$	Carbono
6	$\text{C}$	Grafite, Syn
7	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Óxido de alumínio hidratado
8	$\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	Silicato de Magnésio Alumínio
9	$\text{Al}_3.892\text{Cu}6.10808$	Cobre alumínio
10	$\text{Fe-Mg-Al-SiO}$	Mineral (NR)
11	$\text{SiC}$	Carbeto de silício, Syn
12	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	Oxido de cromo
13	$\text{Fe}_2\text{N}$	Nitreto de ferro
14	$\text{C}_8\text{H}_{12}\text{Na}_2\text{O}_4\text{S}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Sódio Diethylenetrithiodiacet
15	$\text{MG(Al,Fe)}_2\text{O}_4$	Spinel, ferro
16	$\text{Fe}_{12}\text{P}_7\text{Zr}_2$	Fosforeto de Ferro zircônio
17	$\text{Cu}_4\text{Ti}_3$	Cobre titânio
18	$\text{Mg}_9(\text{SiO}_4)_4(\text{OH})_2$	hidróxido Magnésio silicato
19	$\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Fosfato hidrato de sódio
20	$(\text{C}_5\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O})_n$	Poly alanyl glycyl hemihydrate
21	$\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$	Ácido Furamico
22	$(\text{Mg}_4\text{Al}_4)(\text{Al}_4\text{Si}_2)\text{O}_{20}$	Sapphirine – 2M

De acordo com o difratograma pode-se dizer que há uma sobreposição de épicos, portanto todas as fases podem estar presentes ou somente algumas delas. As análises térmicas estão apresentadas conforme Figura 5 (ATD) e Figura 6 (ATG), respectivamente.



**Figura 5.** Análise térmica diferencial (ATD) do PE.

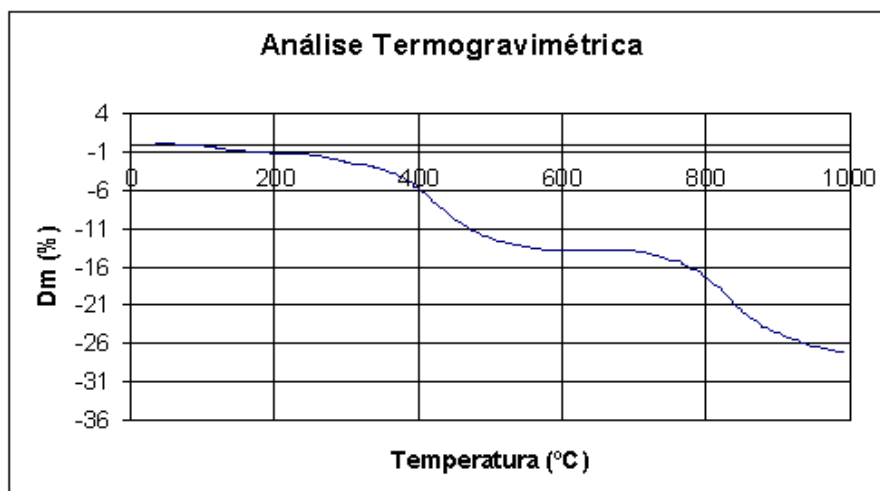


Figura 6. Análise termogravimétrica (ATG) do PE.

#### 4 DISCUSSÃO

A composição química, mesmo de forma qualitativa, evidencia a presença de um grande número de elementos, o que já era previsto em função de as pastilhas de freio normalmente serem compostas por vários materiais, e muitos deles indicados pela literatura pesquisada.

O PE possui em sua composição 20,20% de material orgânico e um alto teor de ferro, estes fatores indicam que o resíduo não pode ser utilizado, na construção civil, mais especificamente em material cerâmico porque este processo utiliza altas temperaturas. A análise térmica realizada mostrou a geração de matéria volátil (orgânicos) observado pelas perdas de massa acima de 400°C e com forte odor. Já o ferro contido poderia desencadear um processo expansivo na cerâmica,<sup>(7,12)</sup> apesar de alguns autores citarem a possibilidade de usar resíduos sólidos com teor de ferro em cerâmica. Entretanto, o resíduo estudado indica possuir, pela análise de DRX, a presença de Nitreto de Ferro ( $Fe_2N$ ) e Carbeto de Silício ( $SiC$ ), os quais justificam-se testes futuros em escala laboratorial, pois estes compostos possuem características cerâmicas, bem como óxido de cromo ( $Cr_2O_3$ ), óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) e carbeto de cromo ( $Cr_7C_3$ ). Para confirmar são necessários outros ensaios de caracterização, como Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), e Espectroscopia Mössbauer para identificar a estrutura em que os compostos de ferro se apresentam na amostra, além de uma análise química quantitativa, a necessidade de caracterização ambiental. Este estudo mais aprofundado pode inclusive indicar a potencialidade de recuperação de metais importantes presentes neste material, desde que tecnologicamente viável e a quantidade gerada garanta a viabilidade econômica.

Mas a aplicação deste material em blocos de pavimentação ou em misturas asfálticas pode ser viável, pois sua granulometria é baixa, contendo um coeficiente de distribuição de 53,50%, ou seja, a maior parte do material ficou retido nas malhas 0,21 mm a 0,107 mm e um teor de finos de 31,71%. Mas esta aplicação só poderá ser realmente comprovada através de ensaios pilotos para ver o comportamento deste resíduo nestes materiais, pois os resíduos diferem de cada empresa. Ainda, em função da quantidade de compostos de ferro presente na amostra será possível identificar outras oportunidades de aplicação.

Durante o processo de preparação da amostra percebeu-se que este material possui característica higroscópica, ou seja, possui a tendência a absorver água sendo

comprovado nos compostos identificados na análise de difração de raios X nas fases 7, 14, 19 e 20. Além disso, possui estrutura cristalina, o qual não poderia ser usado, por exemplo, como material pozolânico.

De acordo com a análise térmica do PE pode-se identificar um pico endotérmico de média intensidade em 838°C identificando a presença de carbonatos no resíduo. Atasoy<sup>(22)</sup> cita que entre 750°C e 900°C ocorre a fusão de silicatos presentes na amostra deste material. Esta identificação pode ser, provavelmente, resultante da adição de óxido de cálcio mais gás carbônico no processo de fabricação das pastilhas de freio tendo como objetivo de carga e reduzir o ruído de frenagem conforme reação química Equação 1.<sup>(1)</sup>



Cardoso<sup>(6)</sup> demonstrou que os picos endotérmicos encontrados na análise térmica na temperatura aproximada de 588°C é a decomposição do  $\text{Ca(OH)}_2$ , bem como a perda de massa da amostra. Isto se comprova na ATD na faixa de temperatura de 400°C a 600°C. A segunda perda de massa que corresponde a 13,10% ocorre na temperatura de 430°C onde os limites considerados estão entre as temperaturas 151°C-593°C que está ligada a provável perda de água adsorvida e também hidroxilas.

No transcorrer da análise identificam-se várias transições vítreas onde ocorre a alteração de linha base, um processo físico.<sup>(23)</sup> Na temperatura de 128°C ocorre um acidente térmico significativo chamado de exotérmico de pequena intensidade que corresponde a umidade da amostra.

Na ATG visualiza-se a perda de massa que corresponde a 27,31% onde na temperatura de 80°C houve a primeira perda de massa, correspondente a 0,85% (picos entre 34°C-151°C) ligada à perda de água da amostra e outros elementos orgânicos que se decompõe nessa faixa de temperatura. No final da análise a amostra apresentou-se no mesmo estado físico a qual foi submetida.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados nesta primeira etapa do estudo foram obtidos por meio de metodologias baseadas em procedimentos de análises em laboratório, fundamentados em normas técnicas que devem ser consideradas em novas pesquisas que tenham como objetivo a utilização do resíduo pó de exaustão.

A caracterização química, determinação de matéria orgânica, percentual de umidade, distribuição granulométrica e caracterização mineralógica deste resíduo estudado são ferramentas muito importantes para que seja conhecido tecnicamente este resíduo sólido e que possa posteriormente ser transformado em co-produto.

Para que este resíduo possa ser reaproveitado em outro processo é crucial a realização da classificação do resíduo, que é feito através da norma ABNT NBR 10.004,<sup>(24)</sup> que compreende desde a identificação do processo que gerou este resíduo, as características de seus constituintes e a comparação destes constituintes com as listagens de substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente já é conhecido.

A análise ambiental é realizada através do teste de lixiviação e de solubilização de acordo com a norma ABNT NBR 10005<sup>(25)</sup> e ABNT NBR 10006.<sup>(26)</sup>

Além destes ensaios é necessário realizar testes de possíveis aplicações em outros produtos em escala laboratório para ver seu comportamento em presença de outros materiais. Uma possível aplicação é no setor da construção civil, mas em processos

que não necessite de altas temperaturas, pois o resíduo pó de exaustão contém em sua composição um alto teor de material orgânico. Um estudo mais aprofundado também pode indicar a potencialidade de recuperação de materiais nobres presentes no PE.

## Agradecimentos

Os autores agradecem aos pesquisadores do NucMat, ao Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais da Unisinos, pela infra-estrutura, pela oportunidade e apoio financeiro para execução deste projeto de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- 1 MENETRIER, Ademir Réus. Estudo de variáveis de composição e processo para controle de compressibilidade. 2006. (Dissertação) Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2006.
- 2 EUROPEAN COMMISSION – DG TrEn, 5<sup>th</sup> Framework Programme – Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles, 2004.
- 3 GARG B, Cadle S H, Groblicki P J and Mulawa P A (2000a). Brake wear particulate matter emissions. Proceeding of Tenth CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop, Hyatt Islandia, San Diego, California, USA, 27<sup>th</sup>-29<sup>th</sup> March.
- 4 ÖSTERLE, W, URBAN, I. “Friction lauyer and friction films on PMC brak pads”. Wear (257) pp 215 – 226. (2004)
- 5 ENGBERG, Catherine C. The Regulation and Manufacture of Brake Pads: The Feasibility of Reformulation to Reduce the Copper Load to the San Francisco Bay, 1995.
- 6 CALMON, J. L. Resíduos industriais e agrícolas. In: Materiais da Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, 1, 2007. São Paulo.
- 7 CARDOSO, Marília Duarte. Reciclagem de escória do forno panela de aciaria elétrica em material cerâmico. 2009 (Dissertação). Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2009.
- 8 CESAR, Antônio Carlos Giocondo. Desenvolvimento de Blocos confeccionados com escória proveniente da reciclagem do aço. 2008. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 2008.
- 9 TEIXEIRA, S.R. Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. 2006. Universidade Estadual Paulista. 2006.
- 10 HOPPEN, C. Co-disposição de Lodo Centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em Matriz de Concreto: Método Alternativo de Preservação Ambiental. 2005. Centro Politécnico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.
- 11 OLIVEIRA, G. E. Reaproveitamento de resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico em cerâmica vermelha. 2004. Universidade Estadual do Norte do Fluminense. Campo dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2004.
- 12 RIBEIRO, Ricardo Augusto Cruz. Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de resíduos industriais Metal – Mecânicos. 2008. (Dissertação). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.
- 13 MARTINS, Bianca Peccin. Estudo de Alternativas para Reaproveitamento de Resíduos Sólidos das Indústrias Metal-Mecânicas em Processos Siderúrgicos. 2010 (Dissertação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010
- 14 PAGNUSSAT, Daniel Tregnago. Utilização de Escória Granulada de Fundação (EGF) em Blocos de Concreto para Pavimentação. 2004 (Dissertação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004

- 15 ALMEIDA, Janaína Alves. Influência da Adição de Resíduo Siderúrgico na Performance do Concreto. 2009 (Dissertação). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009
- 16 MACHADO, A. T. Estudo Comparativo dos Métodos de Ensaio para Avaliação da Expansibilidade das Escórias de Aciaria. 2000 (Dissertação) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000
- 17 IBS (Instituto Brasileiro de Siderurgia), SIDERURGIA BRASILEIRA – Relatório de Sustentabilidade 2007, Concepção AMCE Negócios Sustentáveis.
- 18 SALVADOR, Vera Lúcia Ribeiro. Introdução a Técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X. Apostila. Shimadzu. 2007.
- 19 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) n° 120: Materiais para Fundição – Determinação da Perda ao Fogo. São Paulo: ABIFA, 2003.
- 20 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) n° 105: Materiais para Fundição – Determinação de Umidade. São Paulo: ABIFA, 2003.
- 21 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) n° 081: Materiais para Fundição – Determinação da Distribuição Granulométrica. São Paulo: ABIFA, 2003.
- 22 ATASOY, A. 2005. Na Investigation on Characterization and thermal analysis of the Ausghinish red mud. Journal of thermal Analysis And Calorimetry. 81, 357-361.
- 23 Nomenclatura, Padrões e Apresentação dos Resultados em Análises Térmicas – M. Ionashiro e I. Giolito, São Paulo Brasil.
- 24 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004:2004 - Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- 25 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005:2004 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- 26 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006:2004 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.