



REUSO DE AREIA DE FUNDição RESIDUAL PARA FINALIDADES RODOVIÁRIAS

Guilherme Cardoso de Barros Fornari

Universidade Estadual Paulista

Instituto de Ciência e Tecnologia

Luis Miguel Gutiérrez Klinsky

Centro de Pesquisas Rodoviárias

CCR NovaDutra, Grupo CCR

José Leomar Fernandes Júnior

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

Vivian Silveira dos Santos Bardini

Universidade Estadual Paulista

RESUMO

Devido à grande geração de Areia de Fundição Residual (AFR), estimada em 101.686 toneladas só no mês de dezembro de 2015, diversas instituições brasileiras e mundiais desenvolvem projetos com o objetivo de ampliar as vertentes de reaproveitamento da AFR. O objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade da utilização de AFR na construção de camadas de base e sub-bases de pavimentos vicinais, em conjunto com solo e cal hidratada. As amostras foram submetidas aos ensaios de limites de consistência, granulometria, compactação e ensaio de Índice de Suporte Califórnia. Os resultados mostram que com a adição de 25 e 50% de AFR a previsão de comportamento das misturas é de excelente a bom, já a adição de cal hidratada permite sua utilização como sub base e base, e o incremento de areia de fundição residual aumenta ainda mais a capacidade de suporte, de até 60% e 75%, para 25 e 50% de AFR.

ABSTRACT

Due to the large generation of sand from the Residual Casting (AFR), estimated at 101,686 tons in December 2015, several Brazilian and worldwide institutions are developing projects with the objective of increasing the reuse of AFR. The objective of this work was to evaluate the feasibility of the use of AFR in the construction of base layers and sub-bases of vicinal pavements, together with soil and hydrated lime. The samples were submitted to the tests of consistency limits, granulometry, compaction and testing of the California Support Index. The results show that with the addition of 25 and 50% of AFR the behavior prediction of the mixtures is excellent to good, since the addition of hydrated lime allows its use as sub base and base, and the increase of residual cast sand increases Even more the support capacity of up to 60% and 75%, to 25% and 50% of AFR.

1. INTRODUÇÃO

O setor de fundição, por ser básico à maioria das cadeias produtivas, está estreitamente relacionado com o nível de desenvolvimento industrial, seu avanço é um grande indicador do crescimento da indústria de um país como um todo (SIEGEL, 1979).

Analizando o Informativo Anual de Desempenho de 2015, disponibilizado pela ABIFA, no mês de dezembro, a produção de fundidos no Brasil foi de 112.984 toneladas – 5.136 toneladas/dia, concentrado em São Paulo o maior índice de produção (ABIFA, 2015). Considerando 0,9 o índice de proporcionalidade para a relação entre produção de metais fundidos e a Areia de Fundição Residual (AFR) – proporção que segundo Dantas (2003) oscila entre 0,8 e 1,0, em peso – a geração de AFR no período considerado seria de aproximadamente 101.686 toneladas.

A Areia de fundição residual é usualmente classificada como Resíduo Classe II A – Não Inerte, segundo a ABNT NBR 1004:2006; devido a presença de alguns metais, derivados do processo de fundição, não é possível classificá-la como Resíduo Classe II B – Inerte



(KLINSKY, 2013).

Visando soluções alternativas, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), no Estado de São Paulo, publicou a Decisão da Diretoria N°152/2007/C/E, de 08 de agosto de 2007, que dispõe sobre os procedimentos para gerenciamento de areia de fundição, sendo estabelecidos os parâmetros necessários para sua utilização na fabricação de artefatos de concreto de cimento Portland, ou para compor massas de concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ).

Paralelamente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), publicou e 2009 a norma ABNT NBR 15702 “Areia descartada de fundição – Diretrizes para a aplicação em asfalto e em aterro sanitário”, sendo estabelecidas as diretrizes para a aplicação do resíduo como matéria prima em concreto asfáltico e cobertura diária de aterro sanitário.

Usualmente uma parte da AFR é reutilizada no próprio processo de fundição, reciclagem primária, e o restante descartado em aterros sanitários, podendo também ser reaproveitada em outras atividades, como por exemplo na construção civil (reciclagem secundária) (KLINSKY, 2013).

Devido a algumas propriedades da AFR, esta pode ser reaproveitada na área da construção civil, sendo uma preocupação atual de diversas instituições brasileiras e mundiais a elaboração e desenvolvimento de projetos que possibilitam o seu reaproveitamento, reduzindo o passivo existente em aterros de descarte.

Ferreira *et al.* (2014) desenvolveram um estudo com o objetivo de analizar a viabilidade técnica e ambiental da incorporação de AFR na estabilização granulométrica de um solo laterítico argiloso para a aplicação em pavimentos, utilizando a adição de 20 a 80% de AFR. Os resultados indicaram granulometria e plasticidade típicas de materiais granulares a partir do teor de 50%, nos ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR) ocorreu o aumento do índice em relação ao solo puro no teor de 70%, não apresentando riscos de contaminação nos ensaios ambientais. Concluindo que a mistura de solo laterítico argiloso + 70% de AFR apresentou a maior viabilidade para aplicação nas camadas de pavimentos flexíveis.

A pesquisa realizada por Conti *et al.* (2014), teve como objetivo a análise da viabilidade técnica da utilização dos resíduos de fundição em pavimentação, através da incorporação em bases de pavimentos estabilizadas granulometricamente, em substituição aos agregados rotineiramente utilizados. Os autores utilizaram quatro tipos de areias diferentes, devido ao seu modo de uso no processo de fundição, fato que possibilitou resultados satisfatórios nos ensaios normativos necessários para sua utilização em bases de pavimento, atendendo assim aos requisitos mínimos para uso em bases estabilizadas granulometricamente para obras viárias.

Klinsky *et al.* (2009), avaliaram a possibilidade de reutilizar a areia de fundição, misturada a solos argilosos, como material de base e sub-base para rodovias de baixo volume de tráfego e vias urbanas para a região de Sertãozinho/SP, empregando também a técnica de estabilização granulométrica para obter misturas com areia de fundição em diferentes teores, em peso (0%, 20%, 40%, 60%, 70%). A partir dos ensaios realizados, concluíram que as misturas compostas por 60 e 70% de areia de fundição poderiam ser utilizadas como material para



construção de base e sub-base de pavimentos vicinais, já que essas amostras atendem as exigências necessárias.

Com o crescimento da demanda por peças compostas de metais fundidos, percebe-se a importância do fomento à pesquisas científicas que visem viabilizar a reutilização dos resíduos gerados pelas empresas de fundição, de modo a proporcionar um mercado sustentável.

2. OBJETIVOS

A areia de fundição residual (AFR), Resíduo Classe IIA – Não Inerte, é usualmente descartada em aterros sanitários licenciados a elevados custos. Por outro lado, a construção de rodovias demanda o consumo elevado de recursos naturais e a areia de fundição residual poderia substituir parcial ou totalmente os agregados finos comumente utilizados nas camadas da estrutura do pavimento. Com isso, pesquisadores e engenheiros têm procurado alternativas que permitam reaproveitar esse resíduo em atividades da construção civil (Klinsky, 2013).

Pode-se constar que as normas recentemente redigidas pelos órgãos brasileiros incentivam o reaproveitamento da areia de fundição residual em atividades ligadas à construção de estradas, entre outras. Diversas pesquisas (JAVED e LOVELL, 1994; PATRIDGE e ALLEMAN, 1998; MAST, 1998; COUTINHO NETO, 2004) mostraram que este resíduo poderia ser empregado em grandes quantidades nas atividades de construção das diferentes camadas estruturais do pavimento, sem risco de contaminar o meio ambiente.

Nesta pesquisa, o objetivo principal é avaliar a possibilidade de reaproveitar a areia de fundição residual na construção de camadas de bases e sub-bases de pavimentos de baixo volume de tráfego, em associação com solos e um aditivo estabilizador.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Baseando-se em estudos preliminares (KLINSKY, 2013; KLINSKY, 2008), em que a adição de 20 a 60% de AFR proporcionou misturas com resistência satisfatória para o emprego em camadas de bases de pavimentos, nesta pesquisa fez-se o uso das seguintes composições:

- 100% solo;
- 75% solo e 25% AFR;
- 50% solo e 50% AFR.

A areia de fundição residual (AR) utilizadas foi fornecida pela empresa Essencis, localizada na cidade de São José dos Campos, estado de São Paulo, que possui um Aterro Classe II com grande quantidade de material recebido da fundição da General Motors. O solo argiloso utilizado fora fornecido pela empresa CCR Nova Dutra. O agente estabilizador utilizado foi a cal hidratada, na quantidade de 3% para todas as misturas.

As amostras utilizadas foram preparadas de acordo com o método de ensaio “Solos – Preparação de amostras para ensaios de caracterização”, ME 041/94, do DNER, atual DNIT. Após a secagem em estufa e homogeneização, o solo fora separado para posteriormente ser misturado à AFR, que passou pelo mesmo processo inicial.

Visando analisar as propriedades mecânicas de interesse à engenharia viária, realizaram-se os ensaios de caracterização de acordo com as normas descritas abaixo:



- Análise granulométrica: ME 051/94, do DNER atual Dnit “Solo – Análise granulométrica por peneiramento”;
 - Limites de consistência: ME 122/94, do DNER atual Dnit “Solos – Determinação do limite de liquidez – método de referência” e ME 082/94, do DNER atual Dnit “Solo – Determinação do limite de plasticidade”;
 - Ensaio de compactação: NBR 7182/1986 “Solos – Ensaio de compactação”;
- Capacidade de Suporte (CBR): ME 049/94, do DNER atual Dnit “Solo – Determinação do Índice de Suporte Califórnia”.

Na engenharia viária, a Capacidade de suporte do subleito (fundação) e dos materiais constituintes dos pavimentos é feita pelo CBR, adotando-se o método de ensaio preconizado pelo DNER. Segundo o Manual de Pavimentação (Brasil, 2006), a classificação dos materiais empregados nos pavimentos é realizada da seguinte maneira:

- Materiais do subleito, os que apresentam expansão menor ou igual a 2% e um CBR $\geq 2\%$;
- Materiais para reforço do subleito, os que apresentam CBR maior que o do subleito e expansão $\leq 1\%$;
- Materiais para sub-base, os que apresentam CBR $\geq 20\%$ e expansão $\leq 1\%$;
- Materiais para base, os que apresentam CBR $\geq 80\%$ e expansão $\leq 0,5\%$, limite de liquidez $\leq 25\%$ e índice de plasticidade $\leq 6\%$.

4. RESULTADOS

A Figura 1 mostra a distribuição granulométrica das composições de solo + areia de fundição residual + cal. Verifica-se uma notória redução dos finos dos solos (0,074 mm), atribuído à incorporação da areia de fundição residual.

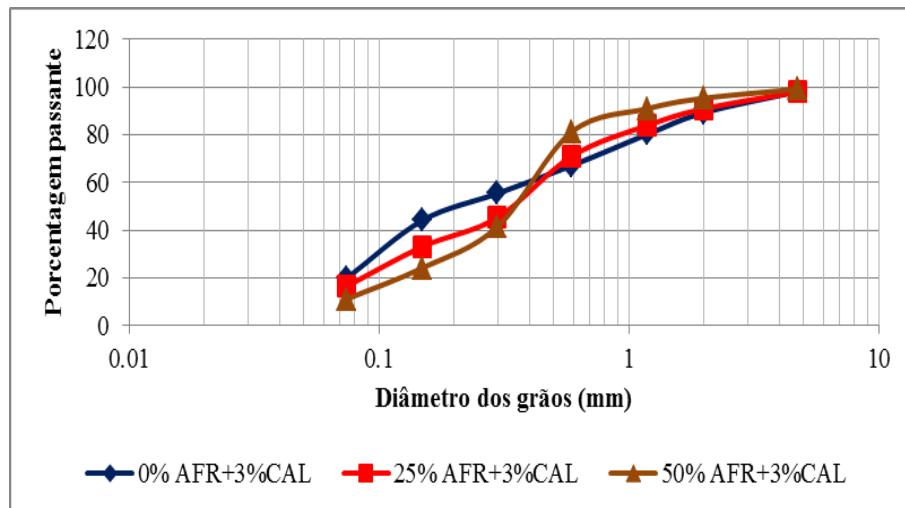


Figura 1: Distribuição granulométrica

A Figura 2 apresenta os valores dos limites de consistência das amostras em função da porcentagem em massa da areia de fundição residual presente. Verifica-se um decréscimo do LL e do IP com o aumento da proporção de massa de AFR, caracterizando uma composição não plástica quando se atinge o máximo de resíduo considerado no estudo.

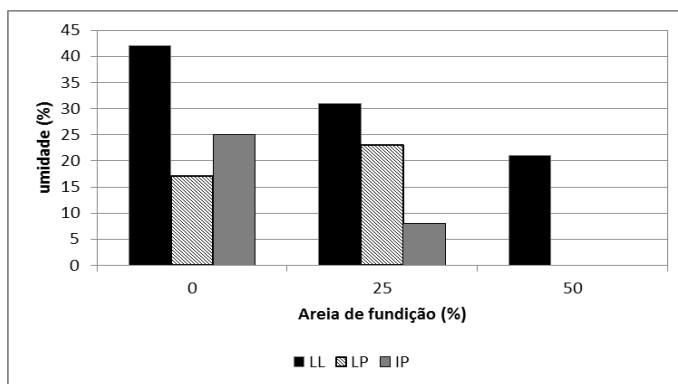


Figura 2: Limites de consistências das misturas solo + AFR

Os resultados de compactação das misturas de solo + AFR + CAL são apresentados na Figura 3 (a) e (b). Nota-se que o incremento do teor de areia de fundição residual aumenta a massa específica seca máxima e a umidade ótima correspondente, o que traduz o caráter progressivamente arenoso das misturas com maiores teores de AFR.

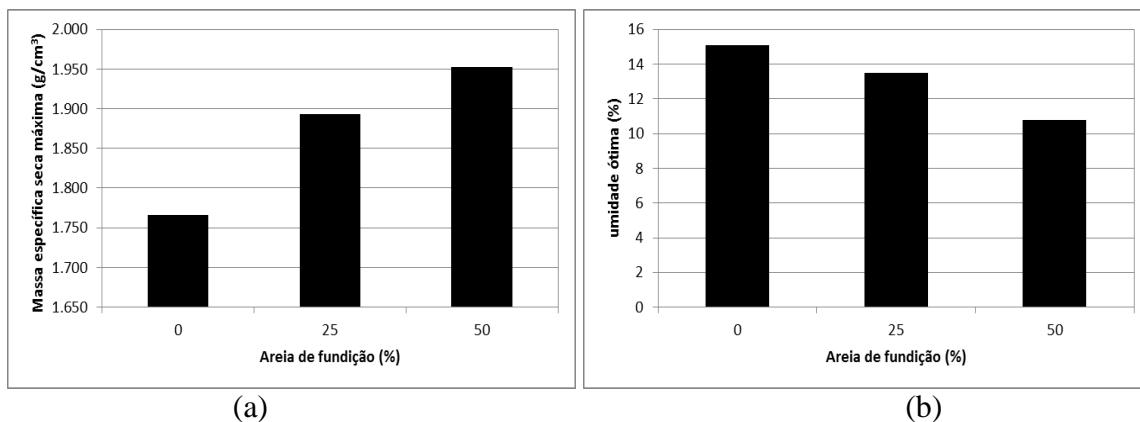


Figura 3: Resultados de compactação Proctor: (a) massa específica seca máxima e (b) umidade ótima

Na Figura 4 (a) e (b) são apresentados os resultados do ensaio de CBR nas misturas de solo + AFR + CAL. Nota-se que a adição de apenas 25% de areia de fundição residual no solo produziu um notável incremento do valor de CBR. Já a expansão também foi reduzida significativamente com apenas 25% de areia de fundição residual. Da mesma maneira, o incremento do teor de areia de fundição residual de 50% também produziu ganhos no valor de CBR e reduções consideráveis na expansão.

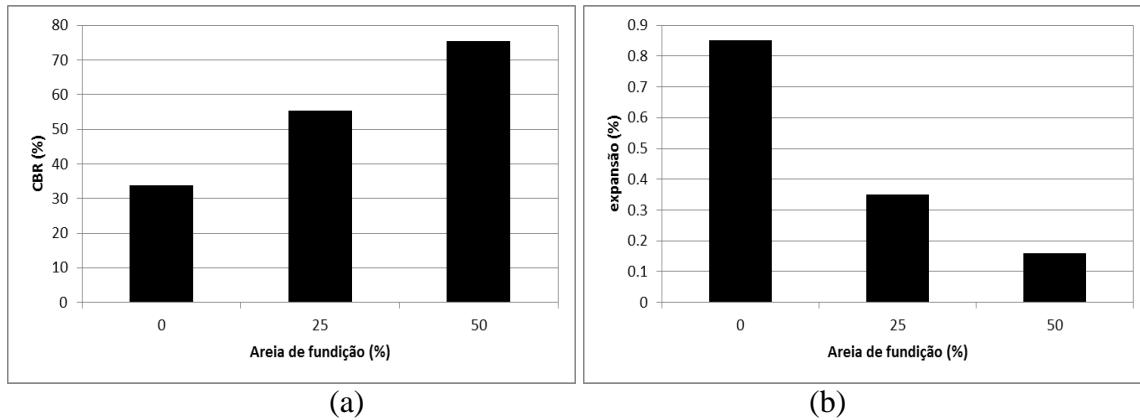


Figura 3: Resultados dos ensaios de CBR (a) CBR e (b) expansão

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos resultados da distribuição granulométrica e limites de consistência, é possível realizar as classificações das misturas segundo as metodologias USCS e AASHTO. A Tabela 1 apresenta as classificações das misturas.

Tabela 1: Classificações das misturas solo + AFR + CAL

Areia de Fundição (%)	Classificação USCS	Classificação AASHTO
0	SC	A-2-7
25	SC	A-2-4
50	SM	A-2-4

Segundo Klinsky (2013), os ensaios mecânicos são considerados mais relevantes para a construção de pavimentos do que essas classificações, porém elas podem proporcionar uma ideia das características dos materiais para sua utilização em camadas de rodovias, mesmo que não tenham sido desenvolvidas para caracterização de misturas de solos.

É possível perceber analisando a Tabela 4 que a adição de AFR alterou a amostra de areia argilosa para areia argilosa apenas na classificação USCS quando a proporção de solo para areia residual é de 50% de cada em peso, já na metodologia AASHTO as três amostras apresentam predominância de areia e areia siltosa ou argilosa.

Com relação às amostras classificadas como SC, essas apresentam baixa possibilidade de uso em pavimentação, a amostra SM apresenta características razoáveis a boas, de acordo com a USCS. Já a partir da metodologia AASHTO, todas as amostras apresentam comportamento bom a excelente para pavimentação. Especificamente a classe A-2-4 é considerada ideal para camadas finais de terraplenagem (CFT), para reforço de subleito e para bases e sub-bases de pavimentos com tráfego de leve a médio.

O solo com adição de cal hidratada é um solo considerado adequado para a construção de sub-bases e bases de pavimentos de baixo volume de tráfego. A adição de 25% e 50% de areia de fundição residual é ideal para obter misturas com resistência adequada para seu emprego em bases de pavimentos.



6. CONCLUSÕES

O objetivo inicial do trabalho foi avaliar a possibilidade de reutilização da areia de fundição residual em camadas de pavimento, uma vez que esse resíduo é classificado com Classe II A Não Inerte, devendo ser descartado em aterros específicos, e considerando que a construção rodoviária utiliza grandes quantidades de materiais para sua execução.

Com os ensaios de caracterização, granulometria e limites de consistência, foi possível classificar as misturas solo + AFR + CAL, com as porcentagens de 0, 25 e 50% de AFR. Nota-se que na classificação do solo puro a previsão de comportamento como material do subleito é de sofável a mal, e a adição de 25 e 50% de AFR a previsão é de comportamento excelente a bom.

Analizando os ensaios de caracterização mecânica, o solo puro, sem adição de cal hidratada, pode ser utilizado somente como material de subleito, já a adição de cal hidratada permite sua utilização como sub base e base, e o incremento de areia de fundição residual aumenta ainda mais a capacidade de suporte, em até 60% para 25% de AFR e 75% (para 50% de AFR).

É importante salientar que a eficiência dos materiais empregados para distribuir as tensões resultantes do carregamento cíclico ou dinâmico no sistema estrutural é definida pelas propriedades de rigidez ou resiliência das camadas de pavimento. Sendo assim o módulo de resiliência, sendo uma propriedade fundamental no processo de dimensionamento de pavimentos, é uma propriedade de extrema importância na avaliação da viabilidade técnica da utilização da areia de fundição.

Conclui-se que é possível reaproveitar a areia de fundição residual na construção de camadas de pavimentos, já que o resíduo apresenta características adequadas que possibilitam seu emprego nestas atividades. O reaproveitamento do resíduo nas camadas de pavimentos pode implicar na redução da exploração de recursos naturais, conservando o meio ambiente.

Agradecimentos

Os autores agradecem as sugestões recebidas de diversos colegas, que permitiram aprimorar o texto e eliminar diversas inconsistências. Caso haja necessidade de se fazer referência a alguma instituição de apoio à pesquisa, deve-se fazê-lo sob a forma de um agradecimento, nesta parte do texto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIFA (2015) Informativo anual de desempenho.
- ABNT (2009) *NBR 15702 Areias descartadas de fundição - Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário*. Rio de Janeiro, RJ : Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- BRASIL (2006) *Manual de Pavimentação*. Rio de Janeiro, RJ : Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 3.ed.
- CETESB (2007) *Decisão da diretoria nº 152/2007/C/E - Procedimentos para gerenciamento de areia de fundição*. São Paulo, SP : Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
- Conti, M. A., et al. (2014) *Análise para utilização de areia residual de fundição na incorporação em bases estabilizadas granulometricamente para pavimentos flexíveis*. XIX Jornada de Pesquisa. Ijuí, RS : UNIJUI - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.
- COUTINHO NETO, B. (2004) *Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas*. São Carlos, SP: Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- FERREIRA, G. C. S, et al. (2014) *Viabilidade técnica e ambiental de misturas de solo com areia descartada de fundição*. s.l. : Transportes, 2014. Vol. 22, p. 62-69. 2.
- JAVED, S; LOVELL, C.W. (1995) *Uses of waste foundry sand in civil engineering*. Washington D.C., Estados Unidos.



- Unidos da América: Transportation Research Board, n.1417, p.109 - 113.
- KLINSKY, L. M. G. (2008). *Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos argilosos*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos. São Carlos, SP.
- KLINSKY, L. M. G., et al. (2009) *Reaproveitamento da areia de fundição como material de base e sub-base de pavimentos flexíveis*. s.l. : Transportes, 2009. Vol. 17, p. 36-45. 2.
- KLINSKY, L. M. G. (2013) *Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição residual em camadas de pavimentos*. São Carlos, SP. : Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- MAST, D. (1998) *Field Demonstration of a Highway Embankment Using Waste Foundry Sand*. Dissertação de Mestrado. Purdue University, West Lafayette, Indiana. Estados Unidos da América.
- PARTRIDGE, B. K.; ALLEMAN, J. E. (1998). *Performance Evaluation of a Highway Embankment Constructed Using Waste Foundry Sand*. Publication FHWA/IN/JTRP-98/08. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, IN. Estados Unidos da América.
- SIEGEL, M. (1979) Fundição. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Metais.