



FUNDAÇÃO
EM
FOCO

O Portal da Fundação no Brasil

***A LENDA DO FENOL NA
AREIA DESCARTADA DE FUNDAÇÃO***

Raquel Luísa Pereira Carnin

- Diretora Executiva da Nova Era Soluções Ambientais
- Pesquisadora Colaborada da Universidade Estadual de Campinas
- Pós-doutoranda em Gestão do Conhecimento na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
- Doutora em Química pela Universidade Federal do Paraná - UFSC

A fundição é um dos processos industriais mais antigos e eficientes para a obtenção de peças metálicas acabadas. Nela, o metal líquido é vertido em moldes de areia — as chamadas caixas de moldagem — que contêm os machos responsáveis por conformar as cavidades internas da peça após a solidificação.

Os moldes definem as faces externas e os machos as internas, utilizando dois tipos principais de areia:

- **Areia de moldagem:** Mistura de areia base (sílica), bentonita (argila), pó de carvão mineral e água;
- **Areia de macharia:** Composta por areia de sílica e uma resina orgânica que pode ser a resina fenólica, geralmente com baixo teor de fenol, necessária para dar rigidez ao molde (figura 1).

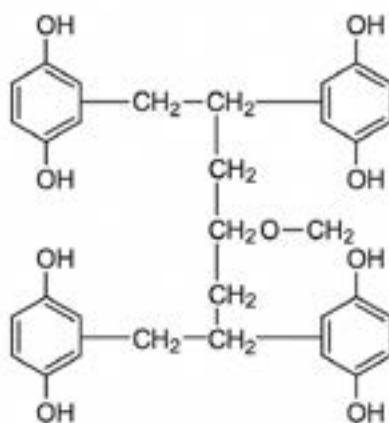


Figura 1 - Composição química de resinas fenólicas (MEDEIROS, et al, 2003)

Durante o processo de fusão, os machos atingem temperaturas em torno de 1.200°C, sendo que o fenol volatiliza a 600°C. Portanto, a possibilidade de que reste fenol ativo na areia após o processo é muito baixa.

Segundo a ABNT NBR 10004:2004, a Areia Descartada de Fundição (ADF) é classificada como Resíduo Classe II A – Não Perigoso, ou seja, apresenta baixa mobilidade e disponibilidade química dos elementos presentes no lixiviado.

A fundição é o método mais curto para se obter peças metálicas acabadas. Consiste, principalmente em verter (vazamento) metal líquido em caixas de moldagem (figura 2), com machos montados em seu interior, que caracterizará a peça após a solidificação do metal.

As indústrias de fundição geram diversos tipos de resíduos, entre os quais se destaca o resíduo sólido oriundo do descarte da Areia Descartada de Fundição (ADF). Esse material representa a maior fração residual do setor, considerando que aproximadamente 80% das fundições brasileiras utilizam o processo de moldagem em areia (CARNIN, 2008).

O resíduo Areia Descartada de Fundição (ADF) é classificado como Classe II A – Não Perigoso, conforme a NBR 10004:2004, por apresentar, no ensaio de solubilização, teores de alumínio, ferro e manganês acima dos limites máximos estabelecidos pela norma (CARNIN, 2024).



Figura 2 – Processo de fundição (GOSSEN, 2005)

FENOL: O VILÃO QUE NÃO É VILÃO

Nos sistemas de macharia à base de resinas fenólicas, o fenol reage quimicamente com o formaldeído (ou com isocianato na presença de amina), formando uma rede termofixa tridimensional.

Após a cura/polimerização, o fenol fica quimicamente ligado na matriz polimérica, e o teor de fenol livre (monômero não reagido) torna-se muito baixo. É o fenol livre, quando presente como traço residual, que pode reagir ou lixiviar e, portanto, é o que pode oferecer risco em determinadas condições. Já o fenol ligado na rede não se comporta como composto livre (SHUDO et al, 2015).

Estudos e guias técnicos mostram que, com cura adequada, as resinas fenólicas alcançam altas conversões (com fenol livre <1%). Além disso, avaliações de risco para areias de fundição descartadas apontam baixa lixiviação de fenólicos e risco não significativo nas aplicações analisadas.

Vários estudos demonstram que o fenol é uma substância amplamente distribuída no ambiente, com origem natural e antropogênica. Pode ser encontrado em emissões veiculares, produtos de limpeza, queima de carvão e refinarias de petróleo.

Além disso, não há evidências de que o fenol seja carcinogênico, sendo classificado como “não classificável quanto à carcinogenicidade para humanos” (ATSDR, 2008).

O fenol tem meia-vida curta: Menos de um dia na atmosfera (onde se degrada por ação da luz e de radicais hidroxila), e entre dois e cinco dias no solo, onde é rapidamente degradado



por micro-organismos em condições aeróbicas e anaeróbicas. Ele não se bioacumula em peixes, plantas ou outras espécies (CARNIN et al, 2022).

COMPARAÇÃO ENTRE A ADF E PRODUTOS DE USO COTIDIANO

Para avaliar a presença de fenol na ADF, foi realizado um estudo comparativo que analisa diferentes amostras de areias descartadas de fundições que utilizam o processo de moldagem e grumos de macharia, e dois produtos de limpeza doméstica.

As análises seguiram a metodologia da NBR 10004:2004, tendo sido realizadas no Laboratório da Acquaplant, localizado em Joinville (SC), conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Resultado do ensaio de solubilização de fenol em diferentes amostras.	
Amostras	Fenol (mg/L)
ADF – Fundição 1	0,07
ADF – Fundição 2	0,06
ADF – Fundição 3	0,35
ADF – Fundição 4	0,51
Grumos de ADF da Fundição 3	0,03
Macho caixa fria após sopro com 0,65% resina C em cada parte	7,82
Macho caixa fria após sopro com 0,65% resina A em cada parte	14,5
Macho caixa fria após pintura e estufagem com 0,65% resina C em cada parte	6,02
Macho caixa fria após pintura e estufagem com 0,65% resina A em cada parte	9,1
Detergente 1	2.400,00
Detergente 2	2.800,00

É importante lembrar que o fenol é amplamente utilizado em produtos comerciais, como desinfetantes (ex.: creolina), corantes, perfumes e plásticos. Assim, enquanto os detergentes analisados apresentaram até 2.800 mg/L, as amostras de ADF registraram no máximo 0,51 mg/L — uma diferença mais de 5 mil vezes menor.

SEGURANÇA AMBIENTAL E RESPONSABILIDADE INDUSTRIAL

Esses resultados demonstram que a Areia Descartada de Fundição é segura do ponto de vista ambiental e pode ser utilizada em diversas aplicações, como base e sub-base de pavimentações e pistas de aeroporto (figura 3), fabricação de artefatos de concreto e outros usos tecnológicos.



Figura 3 – Pista de um aeroporto em Santa Catarina, com ADF (CARNIN et al, 2025)

É essencial que as fundições mantenham controles laboratoriais periódicos e divulguem os resultados físico-químicos de suas areias. A transparência fortalece a confiança da sociedade e evidencia o compromisso do setor com a sustentabilidade e a economia circular (figura 4).



Figura 4 – Esquema da economia Circular da ADF. Fonte: Autora.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo e a revisão das evidências disponíveis na literatura técnica e científica demonstram, de forma consistente, que a Areia Descartada de Fundição (ADF) não representa risco significativo à saúde humana nem ao meio ambiente quando utilizada de forma controlada e tecnicamente fundamentada em processos de construção civil, pavimentação e fabricação de artefatos de concreto.

A caracterização físico-química da ADF evidencia que o material é predominantemente composto por sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxidos de ferro (Fe_2O_3), além de pequenas frações

de metais como Mn, Zn e Cu em concentrações muito inferiores aos valores de referência da NBR 10004 (ABNT, 2004), classificando-o como resíduo Classe II A – não perigoso.

No que tange à presença de compostos fenólicos, os estudos laboratoriais e comparativos mostram que o fenol livre é praticamente inexistente após a cura térmica das resinas fenólicas, visto que este composto é incorporado quimicamente à estrutura polimérica durante a reação de polimerização, formando redes tridimensionais estáveis de pontes metilênicas ($-\text{CH}_2-$) e etéreas ($-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-$). Portanto, o risco associado à exposição ao fenol na ADF é desprezível, uma vez que somente o fenol livre — e não o quimicamente ligado — possui potencial tóxico e mobilidade ambiental.

Estudos de ecotoxicidade realizados com organismos aquáticos e terrestres (microcrustáceos, algas, peixes, microrganismos e anelídeos) confirmam a ausência de efeitos tóxicos significativos, mesmo nas concentrações mais elevadas avaliadas, demonstrando o baixo potencial de lixiviação e mobilidade dos compostos orgânicos oriundos da ADF. Além disso, comparações entre as concentrações de fenol em amostras de ADF e em produtos de limpeza doméstica revelam que os níveis presentes na ADF são milhões de vezes menores, reforçando sua segurança ambiental e ocupacional.

Do ponto de vista da avaliação de risco, os dados obtidos demonstram que a ADF apresenta índices de toxicidade (FT) muito abaixo dos limites legais estabelecidos pela Lei Estadual nº 17.479/2018 (SC), mesmo nos cenários conservadores de uso em pavimentação, camadas de base/sub-base e artefatos de concreto. As evidências internacionais (USEPA, 2009; USDA, 2012) também corroboram a viabilidade e a segurança do uso benéfico da ADF, considerando que os valores de elementos traço e orgânicos são compatíveis com os encontrados em solos naturais.

Dessa forma, pode-se afirmar que a ADF, quando submetida a processos adequados de caracterização e controle, deixa de ser um passivo ambiental e se consolida como um insumo estratégico para a economia circular da indústria metalúrgica e da construção civil. Seu aproveitamento contribui para a redução do volume de resíduos dispostos em aterros, preservação de recursos naturais, redução de emissões associadas ao transporte e extração de areia virgem, além de promover benefícios econômicos e socioambientais diretos.

Assim, o paradigma que associa a ADF a um material de risco é superado pelo conjunto robusto de evidências científicas, que comprovam sua segurança, estabilidade e potencial de uso sustentável, alinhando-se plenamente aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS 9, 11, 12 e 13) e aos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). *Toxicological Profile*

for Phenol. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, 2008.

CARNIN, R. L. P.; KRETSCHMER, F; RONCHI, L. F. UTILIZAÇÃO DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO EM OBRAS AEROPORTUÁRIAS: O CASO DA APLICAÇÃO NO AEROPARK VALE EUROPEU. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasília, 2025. 5p.

CARNIN, R. L. P. AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO EM MISTURAS ASFÁLTICAS: UMA ABORDAGEM JURÍDICA E SUSTENTÁVEL. 1. ed. Joinville: Editora GuedesJus, 2024. v. 1.223p.

CARNIN, R.L.P. Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em mistura asfáltica. 2008. Tese (Doutorado) – Curso de Pós Graduação em Química, Setor de Ciências Exatas, Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. 152 p.

CARNIN, R. L. P.; RICHTER, M. F.; COLDEBELLA, G. Estudo da ecotoxicidade aguda e crônica da areia descartada de fundição. *FUNDIÇÃO & MATÉRIAS-PRIMAS*, São Paulo, p. 45 - 53, 09 set. 2022.

GOSSEN, Marcell André. Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais: Proposta de um Procedimento e Aplicação. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Regional de Blumenau, 2005.

MEDEIROS, E. S. de; AGNELLI, J. A. M.; MENEZES, S. M. C. *Curing behavior of a novolac-type phenolic resin analyzed by differential scanning calorimetry. Journal of Applied Polymer Science*, v. 90, n. 6, p. 1678-1682, 2003.

SHUDO, Y.; SAKAI, M.; NISHIMURA, A.; YOKOTA, T. Dynamic light scattering study of the curing mechanisms of novolac-type phenolic resins. *Polymer Journal*, v. 47, p. 305-312, 2015.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Beneficial Use of Foundry Sand: A Review of Available Information.* Washington, D.C.: Office of Resource Conservation and Recovery, U.S. Environmental Protection Agency, 2009. 107 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). *Field Evaluation of Foundry Sand in Soil Applications.* Madison, WI: Agricultural Research Service (ARS), U.S. Department of Agriculture, 2012. 45 p.