

FABRICAÇÃO DE UM FORNO PORTÁTIL DE FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO DE BAIXO CUSTO

PRODUCTION OF A LOW-COST ALUMINUM PORTABLE SMELTING FURNACE

Fagner Ferdinando¹

Alexandre Fábio²

Otávio Contart Gamboni³

RESUMO

Este artigo tem como objetivo realizar um estudo acerca da possibilidade de fabricação um forno portátil de fundição de alumínio de baixo custo e com baixo impacto ambiental, além de utilizá-lo na disciplina de Práticas Integradoras no Centro Universitário Unifafibe. A metodologia utilizada é de caráter prático, uma vez que os autores construíram um forno funcional à medida que elaboraram um roteiro que pudesse ser replicado por outros interessados em replicar o instrumento. O projeto exige conhecimentos práticos em relação a cortes e soldagem em que devem ser seguidas medidas de segurança e baseia-se no reaproveitamento de materiais, levando em conta a disponibilidade e aplicabilidade de materiais. Os resultados demonstraram que é possível construir um forno capaz de efetivamente fundir o metal e produzir peças de pequena escala, cuja operação é efetiva na fundição de alumínio, manutenção e tratamento de ligas. Após o fim do projeto foram realizadas práticas de fundição para testar a rotina de operação do equipamento e o mesmo foi deixado aos cuidados do supervisor do laboratório do centro universitário. A análise de operação do aparelho demonstrou que os maiores cuidados são em relação à segurança na operação.

Palavras-chave: alumínio; forno de fundição; sustentabilidade.

¹ Graduação no Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro SP. E-mail: fagnerferdinando3@gmail.com

² Graduação no Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro SP. E-mail: fabioo.alexandre@hotmail.com

³ Docente no Centro Universitário UNIFAFIBE – Bebedouro SP. E-mail: otaviocgamboni@yahoo.com.br

ABSTRACT

This paper aims to carry out a study about the possibility of building a low cost aluminum smelting furnace with low environmental impact, as well as using it in the discipline of Integrative Practices at Unifafibe University Center. A practical methodology was applied since the authors constructed a functional furnace along with a guide that can be replicated by others interested in building a similar tool. The project requires practical knowledge regarding welding in which safety measures must be followed and is based on the reuse of materials, taking into account their availability and applicability. The results demonstrate that it is entirely possible to build a furnace whose operation is effective in aluminum casting, alloy maintenance and treatment, a tool capable of effectively melting the metal and producing small- scale parts. After the project was done, casting practices were carried out to test the operation routine of the equipment and it ultimately was left under the care of the university's lab chief. The operation analysis has shown that the greatest care is the operational safety.

Keywords: aluminium; blast furnace; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade da economia brasileira, diversos segmentos industriais utilizam o processo de fundição, com destaque para a de automóveis. De acordo com De Araújo, Arenales e Clark (2004), são fabricadas desde peças mais simples, para utilização doméstica, até as mais complexas como partes de máquinas industriais. e estão presentes em todas as regiões, produzindo desde peças simples de uso doméstico.

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio (2017), o alumínio apresenta um ponto de fusão baixo de 660°C em comparação ao aço (1570°C). Trata-se de um metal mais leve do que o aço e o ferro, por exemplo, seu peso específico é de aproximadamente 2,70 g/cm³, 35% do peso do aço. Apresenta resistência à corrosão por possuir uma fina camada de óxido de alumínio (Al₂O₃).

De acordo com Matos et al. (2000), de forma geral, o processo de fundição de alumínio consiste na fabricação de peças metálicas ao verter o metal liquefeito em moldes, baseados no modelo e feitos à base de areia. Trata-se de uma indústria altamente poluidora, seu desempenho ambiental é baixo tanto pelo fato de consumir excessivamente recursos naturais, como água e energia elétrica, tanto por gerar

grande volume de poluentes.

Os estudos de Oliveira Filho (2001, p. 109) mostram que, de forma geral, existem possibilidades de práticas sustentáveis nessa indústria: “fica evidente a viabilidade na correção dos sistemas industriais de transformação do alumínio, para atingir uma produção mais limpa e resultados econômicos satisfatórios”. Isto é, existem possibilidades de produção de alumínio sustentáveis não exploradas pelas empresas, como a minimização do resíduo de areia de fundição descartado.

O alumínio é um material que apresenta, segundo a ABAL (2017), propriedades excepcionais, como ponto de fusão de 660°C (o que é relativamente baixo comparado ao do aço, que é da ordem de 1570°C), que o tornam um material versátil. Contudo, muitas indústrias de fundição de alumínio produzem-no na atualidade de forma não sustentável.

Nesse contexto, o objetivo principal deste artigo é estudar a possibilidade de fabricação um forno portátil de fundição de alumínio de baixo custo e com baixo impacto ambiental, para utilização em pequenas empresas. De forma específica, os objetivos foram assim estabelecidos:

- a) Permitir a utilização desse forno para fins didáticos no Centro Universitário, durante as disciplinas de Práticas Integradoras e Processamento dos Materiais;
- b) Formular de um roteiro prático para a construção do forno, de modo que pudesse ser seguido por outras pessoas;
- c) Analisar a rotina de operação de operação do forno, os principais cuidados com saúde e segurança no trabalho, e orientações em relação à manipulação do aparelho.

Dessa forma, a presente pesquisa se justifica uma vez que a construção de um forno de fundição com capacidade de produzir peças de volume de até 5cm³ e custo de até R\$ 100,00, utilizando-se sucata permitirá que tal instrumento seja utilizado, em aulas práticas no próprio Centro Universitário Unifafibe, por graduandos em diversos ramos da Engenharia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A importância do alumínio

Segundo Cardoso et al. (2011), o alumínio é o metal mais abundante de nosso planeta, seu uso, levando em conta a quantidade e o valor empregado, é superior ao de qualquer metal, com exceção do ferro. É utilizado extensivamente para produzir diversos produtos, como ligas metálicas, laminados e extrudados, devido a suas propriedades: de leveza, alta condutividade elétrica, baixo ponto de fusão e resistência à corrosão.

De acordo com Andrade, Cunha e Gandra (2001), os segmentos de embalagem, transporte e construção civil concentram a maior parcela do consumo mundial de alumínio, sendo que o primeiro consome 25%, o segundo 22% e o último 20% de um total de 24 milhões de toneladas anuais.

Cardoso et al. (2011) ainda mencionam que o alumínio tem sua importância em diversas outras atividades econômicas, por exemplo: o tratamento de água, indústrias metalúrgica, aeronáutica, transporte, farmacêutica e alimentar. Nota-se que o mercado é amplo, pois o consumo do alumínio destina-se à produção de uma ampla gama de produtos.

Segundo a ABAL (2017), a condutibilidade térmica do alumínio é 4 vezes maior que a do aço, sua refletividade superior a 80%, podendo ser usado em luminárias. Outra característica vantajosa é sua praticamente infinita reciclagem sem perda de propriedades físicas e químicas.

O alumínio é, portanto, um metal extremamente versátil graças a todas as características explicitadas. Na maioria de suas aplicações, duas ou mais dessas características são fundamentais: alta resistência mecânica combinada com baixo peso; a união de alta resistência à corrosão e condutibilidade térmica (ABAL, 2017).

O processo de fundição do alumínio

O método de fundição de alumínio mais utilizado é através dos fornos elétricos, devido ao ponto de fusão baixo desse metal e de suas ligas. Por esse processo é possível obter peças fundidas de alta qualidade, pois com o aquecimento por resistência elétrica é possível controlar com altíssima precisão a composição química do produto final (SILVA, 2017).

O primeiro passo da fundição é a modelação. Os modelos servem para dar forma ao fundido e seu material pode ser de isopor, madeira, plástico (epóxi) ou metal (alumínio, ferro ou bronze). Podem ser utilizados ainda os machos, cuja função é formação de furos em peças vazadas. Devem ser ao mesmo tempo resistentes ao vazamento do metal fundido e fáceis de quebrar após a solidificação (ROSSITI, 1993).

Em relação à moldagem, Chiaverini (1977) afirma que a escolha do molde (negativos da peça) depende do material com que são feitos e do processo utilizado. Geralmente são feitos de areia sintética, que é uma mistura de areia, argila, água e areia verde ou a areia seca, essa última quando são necessárias peças com acabamento detalhado ou estabilidade dimensional.

O processo de fundição com molde de areia mais comum é o por gravidade, devido a seu baixo custo. Nele é confeccionado o modelo, esse é posto em uma caixa com areia com dois canais, um para vazamento e outro para alimentação. Realiza-se o aquecimento e a secagem do molde de areia, retira-se o modelo e é vazado o metal fundido (CETLIN; HELMAN, 2005).

Durante a fundição, caso exista a necessidade de formar ligas, o alumínio em estado líquido “tem sua temperatura reduzida, sendo depositado em fornos de espera. É nessa fase do processo que outros materiais de liga podem ser adicionados, de acordo com a finalidade que será dada à liga de alumínio” (CARDOSO, 2011, p. 87).

Cetlin e Helman (2005) ainda afirmam que depois da solidificação a peça é retirada após a destruição do molde. Caso o molde possua um formato em que seja possível remover a peça, ele pode ser ocupado com a produção de outras peças. Os moldes permanentes devem ser feitos de um metal com ponto de fusão superior ao do alumínio e permitem a fabricação de muitas peças com um único molde.

Sustentabilidade no processo de fundição do alumínio

Em relação à fundição, Matos (2000) propõe medidas diferenciadas, para uma produção mais sustentável do alumínio em relação a resíduos sólidos, não permitir que haja vazamentos de equipamentos; adoção de medidas de supervisão e controle da logística da areia de moldagem e seus componentes; implementação de um bom procedimento de limpeza e de um método de gerenciamento pautado na

prevenção de resíduos além da diminuição das quantidades de areia agregada às peças.

Segundo Fagundes et al. (2010), em relação aos resíduos sólidos, na atualidade, um dos maiores desafios para as empresas que utilizam a fundição do alumínio como o processo produtivo é a redução do volume de areias descartadas de fundição (ADF). Em face da importância que o desenvolvimento sustentável tomou no mercado industrial, as restrições ambientais são crescentes, e o descarte dessa areia traz consequências negativas à sustentabilidade das empresas (FAGUNDES ET AL., 2010).

Algumas das alternativas sugeridas por Matos (2000) podem ser aplicadas de imediato em qualquer indústria, ao passo que para outras é necessário o desenvolvimento de estudos em relação à viabilidade técnica, ambiental e econômica, como no caso da regeneração da areia de moldagem.

Já em relação aos resíduos líquidos, podem ser adotados circuitos fechados para os Sistemas de água de aquecimento e resfriamento. A água proveniente da lavagem do pó de exaustão pode ser adicionada novamente ao processo. No que tange os resíduos gasosos, os materiais responsáveis pela produção de gases tóxicos podem ser substituídos por peças iguais menos poluentes (MATOS, 2000).

Klinsky e Fabbri (2009) pontuam que a areia de fundição pode ser reutilizada principalmente no campo da construção civil. Diversas empresas brasileiras e internacionais já mostraram sua preocupação com a elaboração de projetos voltados para a reutilização do resíduo. Alguns exemplos de projetos de reutilização são: concreto, tijolos e tubos, aterros, terraplenagens, misturas de asfalto e pavimentação em concreto armado.

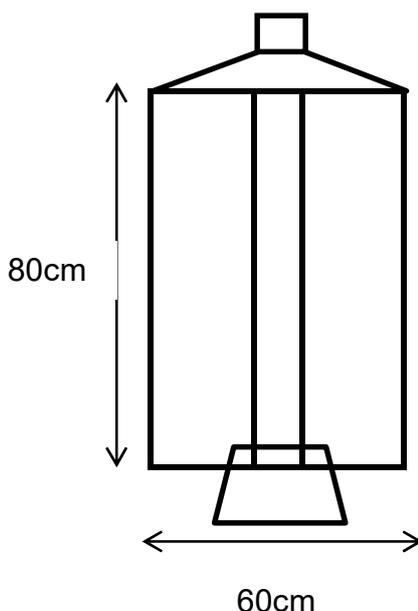
3 METODOLOGIA

O presente trabalho realizou uma metodologia de caráter prático, pois foi realizada a construção de um forno funcional para a fundição de alumínio pelo método de aquecimento com combustível líquido, nas devidas proporções do que pode ser realizado por dois estudantes de graduação.

A construção do forno foi realizada com total apoio do orientador do trabalho, sendo que seu auxílio foi fundamental devido a sua experiência na área de processamento de materiais. A montagem exige conhecimentos práticos em relação a

cortes, soldagem, e outros procedimentos, assim, a experiência dos membros do grupo na manipulação das ferramentas também foi determinante para que o forno terminasse com um bom acabamento. A figura 01 mostra um desenho preliminar do forno.

Figura 01: Desenho do forno



Fonte: elaboração própria (2018)

Durante a montagem foi necessário realizar procedimentos de soldagem. Para isso foram observadas algumas medidas de segurança no trabalho, pois durante a soldagem se formam fumos de solda, partículas sólidas extremamente finas de óxidos metálicos. Se inalados ou entrarem em contato com a pele, podem afetar diversas partes do corpo (pulmão, coração e sistema nervoso) (MATHEUS, 2009).

Observam-se, na NR 06 (BRASIL, 1978), alguns Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) adequados a soldagem. A fim de evitar a exposição à poeira metálica e fumos, o operador deve utilizar:

- óculos de segurança e máscara de proteção a fim de que a radiação ultravioleta não penetre em seus olhos;
- respirador purificador de ar para proteger suas vias de poeiras, fumos e névoas.

Matheus (2009) ressalta que até mesmo exposições de curto prazo a fumos de solda aparentemente inofensivos podem trazer risco de doença pulmonar ao soldador.

A autora afirma que é ideal que haja treinamento prévio e uso correto do EPI. Os autores do trabalho providenciaram os equipamentos necessários para a realização segura das soldagens necessárias.

O forno montado segue as especificações preconizadas por Russo (2012), que são: ambiente de temperatura controlada para o desenvolvimento da fundição; geometria otimizada para que a transferência de calor ocorre de modo eficaz e uniforme, com perdas de calor mínimas devido ao concreto refratário.

O trabalho baseia-se no reaproveitamento de materiais que teriam o descarte como destino. Não apenas o projeto, como também a montagem do forno levaram em consideração a disponibilidade e aplicabilidade dos materiais. Inicialmente realizou-se uma seleção de materiais que estavam facilmente disponíveis e posteriormente a necessidade de compra ou construção dos demais componentes.

Assim, o tubo de aço cilíndrico usado para montar o forno foi aproveitado de um aparelho de ar-condicionado avariado. Trata-se de um tubo de gás refrigerante fornecido uma empresa da cidade de Pitangueiras, que havia realizado recentemente a troca dos aparelhos de seu estabelecimento.

Para construir o forno foi usado o material cilíndrico plástico mencionado acima. Nele foi medida a altura de 26 cm com uma trena, para a realização do corte superior. A marcação para corte foi realizada com uma caneta hidrocor. Após a operação, a parte superior será usada como tampa do forno. O corte foi feito com uma lixadeira de disco.

Após o corte, foi necessário criar a sustentação do forno. Ela consiste de um tripé montado com três tubos de aço parafusados à base, fornecidos pela empresa em que um dos membros do grupo trabalha. As três peças foram devidamente lixadas e parafusadas à base.

Em relação à tampa, foram retiradas as duas puxadeiras com uma broca para que fossem aproveitadas como alça, parafusada na lateral da tampa, e para tal foram necessários alguns cortes para adaptação da peça. Um furo circular foi aberto no topo da tampa para vazão de gás. Com o objetivo de que a chama do forno não danifique a pintura, foi soldada uma leve elevação na “boca” de entrada do material de aproximadamente 1 cm de altura.

Após a instalação das dobradiças para unir a tampa ao corpo do forno, com uma trena foi medida uma altura de 16cm desde o topo do forno para ser furada a

entrada do queimador de combustível para que ele ficasse a aproximadamente uma polegada de altura em relação ao fundo do forno. Para perfurar o metal foi usada uma serra copo.

Foi feita a mistura de concreto refratário com água em uma bacia metálica até que fosse adquirida uma consistência semelhante à do cimento. Depois essa mistura foi adicionada ao corpo do forno até uma altura de uma polegada. Foi adicionada massa também à tampa do forno. Para demarcação do cilindro de entrada de metal foi usado um copo de plástico. O tempo de descanso da massa foi de 24 horas.

Para demarcar a separação do cadinho na parte interna do forno utilizou-se um tubo de PVC de 150mm de diâmetro e 18,5cm de comprimento como molde no momento de despejar concreto refratário pela segunda vez. Foi adicionado concreto para a segunda câmara mais externa até o topo do corpo do forno. Por fim, retiraram-se todos os moldes de plásticos do forno.

Foi soldado um pequeno tubo metálico para o bocal da entrada do queimador, uma lixa simples para dar acabamento à superfície externa do forno e utilizada tinta na cor preta, a fim de evitar manchas devido à alta temperatura, para a pintura. A Figura 02 mostra o forno já montado e pronto para ser operado.

Figura 02: Forno pronto



Fonte: elaboração própria (2018)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se, após testes práticos com o forno portátil, que sua operação foi efetiva na fundição de alumínio, manutenção e tratamento de ligas, respeitada as normas técnicas em vigência, especialmente a NR 14. Segundo Garcia, Silva Neto e Souza (2004), ao montar-se um aparelho desse tipo, deve se buscar “alcançar propriedades termomecânicas desejáveis para uma aplicação específica”. Dessa forma, conforme ilustra a Figura 03, foi alcançado o objetivo de construir um forno capaz de efetivamente fundir o metal e produzir peças de escala de 5cm².

Figura 03: Forno em operação



Fonte: elaboração própria (2018)

Além disso, percebeu-se que é possível construir um modelo de forno portátil semelhante ao apresentado e totalmente funcional, com altura de 80 centímetros e diâmetro de 50cm. Basta para isso seguir o roteiro elaborado na seção de Metodologia, visto que o forno pode ser desenvolvido e produzido a partir de materiais simples, como tubo de ar-condicionado para a carcaça e metais encontrados no ferro velho.

Ao longo dos testes foi observado que é necessária atenção total do preparador no momento de aquecimento e derretimento do alumínio, assim, antes de acender o forno, deve ser realizada a preparação dos moldes e todo o combustível deve ser colocado no forno, a fim de garantir a presença de fogo para

que todo o material depositado possa ser derretido. Na Figura 04 é possível observar o forno derretendo alumínio.

Figura 04: Derretimento de alumínio no forno portátil



Fonte: elaboração própria (2018)

Essa precaução se deve ao fato de que reabastecer um forno não é uma tarefa fácil, além de perigosa. A pesquisa de Klassmann, Brehm e Moraes (2011) demonstrou risco, na cancha de vazamento, dois tipos de lesões graves principais: corpos estranhos nos olhos e queimaduras, resultando em afastamentos dos operários devido à gravidade e alto tempo de recuperação.

A capacidade do forno é de uma hora de operação, com tempo de espera de 30 minutos entre as fundições para evitar sobrecargas e acidentes, segundo experiências práticas realizadas pelos autores. Em relação à sustentabilidade, é possível a utilização de um filtro para diminuir a poluição provocada por gases nocivos, como os exemplos mostrados na figura 05.

Figura 05: Filtros para gases nocivos



Fonte: <https://pt.made-in-china.com/> (2018)

Na prática, os autores perceberam que gases tóxicos são produzidos no processo de fundição de alumínio a temperaturas elevadas. É fundamental, portanto, o uso de máscaras para evitar respirá-los. Os autores observaram por meio de testes que alumínio fundido derrete a temperaturas mais baixas, sendo necessário menos uso de combustível, e de forma homogênea do que latas de refrigerantes, por exemplo. Na Figura 06 observa-se o forno sendo manuseado com cuidado e proteção.

Figura 06: Operação do forno com observação de quesitos de segurança



Fonte: elaboração própria (2018)

Este projeto, em relação à segurança, envolve temperaturas extremamente altas. Dessa forma, a utilização de equipamentos de segurança apropriados é imprescindível. É recomendado ainda ter um extintor de incêndio no caso de acidentes.

Em razão dos riscos observados, os autores utilizaram e recomendam fortemente a utilização de EPIs adequados durante todo o processo de fundição. Recomenda-se: “uso de máscara respiratória para proteção das vias respiratórias contra poeiras e fumos, óculos para proteção dos olhos contra impactos de partículas volantes e uso de luvas” (DE CARVALHO; CANDIDO, 2017).

A NR 14 (BRASIL, 1978) determina que a construção dos fornos deve ser revestida de material refratário, para que o calor de irradiação não ultrapasse a tolerância. Sua instalação deve ser em locais que ofereçam segurança aos trabalhadores, de modo a evitar acúmulo de gases nocivos e altas temperaturas em sua vizinhança.

O modelo construído não é único, são possíveis variações de dimensões e sistemas de aquecimento a depender da aplicação ou da disponibilidade de materiais, sendo este apenas um modelo referencial. São possíveis diferentes sistemas de

aquecimento, como o elétrico, com módulos de resistências, a gás ou a óleo.

De acordo com a literatura estudada, observa-se que o segmento industrial mais adequado para reaproveitamento dos resíduos da fundição é o da construção civil. Logo, a areia de fundição proveniente das moldagens realizadas com este forno serão encaminhadas para empresas do ramo na região de Bebedouro. Os membros do grupo entraram em contato com as principais empresas dessa área a fim de formar uma parceria para a coleta dos resíduos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fabricação de um forno portátil de fundição de alumínio de baixo custo foi possível e demonstrada por meio da montagem e posteriores práticas de fundição realizadas em conjunto com o orientador do trabalho no Centro Universitário Unifafibe.

O forno fabricado foi deixado aos cuidados do supervisor do laboratório de Práticas Integradoras do centro universitário, juntamente com o roteiro elaborado na Metodologia do presente artigo, para fins de consulta posterior por alunos ou outros possíveis interessados em replicar o experimento.

A rotina de operação de operação do forno foi analisada por meio de testes realizados pelos autores e orientador no Centro Universitário, e por meio dela concluímos que são necessários cuidados com segurança na operação do forno portátil, principiantes em metalurgia devem requisitar orientação de uma pessoa experiente antes de partir para a tarefa de fundir o alumínio.

Por fim, é importante frisar que na rotina prática percebeu-se que certas ligas de alumínio, ao serem fundidas, liberam uma alta concentração de gases tóxicos. Dessa maneira, o local de operação deve ser ventilado ou ao ar livre. A segunda opção é a recomendada pelos autores, pois assim o corpo do operador fica protegido dos efeitos do calor extremo e, portanto, são menores a desidratação e a insolação.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Maria Lúcia Amarante de; CUNHA, Luiz Maurício da Silva; GANDRA, Guilherme Tavares. A indústria do alumínio: desempenho e impactos da crise energética. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 14, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO. Alumínio: Características Químicas e Físicas. 2017. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas>>.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. *NR 06 - Equipamento de Proteção Individual - EPI*. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR6.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. *NR 14 - Fornos*. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978. Disponível em: <<http://www.trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR14.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

CARDOSO, José Guilherme da Rocha et al. A indústria do alumínio: estrutura e tendências. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 43-88, 2011.

CETLIN, P. R.; HELMAN, H. Fundamentos da conformação mecânica dos metais. São Paulo: Artliber, 2005.

CHIAVERINI, Vicente. *Aços e ferros fundidos*. Abm, 1977.

DE ARAUJO, Silvio Alexandre; ARENALES, Marcos Nereu; CLARK, Alistair Richard. Dimensionamento de lotes e programação do forno numa fundição de pequeno porte. *Gestão & Produção*, v. 11, p. 165-176, 2004.

DE CARVALHO, Horry Leite; CÂNDIDO, Luis Felipe. Análise das práticas de gestão de Segurança e Saúde no Trabalho em uma Micro-Empresa do Setor Industrial. In: RUY, Marcelo (Org). *Tópicos em Gestão da Produção*. Belo Horizonte: Poisson, 2017.

FAGUNDES, Alexandre Borges et al. Caminhos para a sustentabilidade do setor de fundição no Brasil. *Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 5, n. 2, p. 27, 2010.

GARCIA, Silvino Mendes; SILVA NETO, Antônio J.; SOUZA, Mauro Carlos. Projeto e Construção de um Forno Tubular de 2,5kVA. In: CONGRESSO DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA MECÂNICA, 11., 2004, Nova Friburgo.

KLASSMANN, Alexandre Bruzzo; BREHM, Feliciane Andrade; MORAES, C. A. Percepção dos funcionários dos riscos e perigos nas operações realizadas no setor de fundição. *Estudos Tecnológicos*, v. 7, n. 2, p. 142-162, 2011.

KLINSKY, Luis Miguel Gutiérrez; FABBRI, Glauco Tulio Pessa. Reaproveitamento da areia de fundição como material de base e sub-base de pavimentos flexíveis. *Transportes*, v. 17, n. 2, 2009.

MATHEUS, Bruna Porcino. Risco químico relacionado aos fumos de solda e poeira metálica. *Revista rede de cuidados em saúde*, v. 3, n. 3, 2009.

MATOS, Stelvia Vigolvinho et al. Alternativas de minimização de resíduos da indústria de fundição. *FS Fundição e Serviços*, São Paulo, v. 13, 2000.

OLIVEIRA FILHO, Francisco Adones de et al. Aplicação do conceito de produção limpa: estudo de uma empresa metalúrgica do setor de transformação do alumínio. 2001.

ROSSITTI, Sergio Mazzer. Processos e variáveis de fundição. *Grupo Metal*. São Paulo, 1993.

RUSSO, João José Ferreira Gomes. *Adaptação de dois fornos elétricos para tratamentos térmicos e fundição*. 2012. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

SILVA, Darlan Henrique da. *Projeto de um forno à resistência elétrica para fundição de alumínio*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso.

VERRAN, Guilherme Ourique; KURZAWA, Udo; GABOARDI, Guilherme Gava. Reciclagem de latas de alumínio usando fusão em forno elétrico à indução. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, v. 3, n. 1, p. 1-11, 2007.

Recebido em 3/12/2018

Aprovado em 19/12/2018