

UM ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA REAPROVEITAMENTO DA AREIA DESCARTADA NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Dr. Samuel Vinicius Bonato (Universidade Federal do Rio Grande)¹
svbonato@gmail.com

Bel. Michele Leites Almeida (Faculdade Cenecista Nossa Senhora dos Anjos)²
michele.michelealmeida@gmail.com

Msc. Errol Fernando Zepka Pereira Junior (Universidade Federal do Rio Grande)³
zepkaef@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar formas de reaproveitamento para a areia de moldagem descartada pela empresa Hidro Jet. Buscou-se, conhecer as práticas adotadas por empresas do mesmo segmento que a Hidro Jet, identificar processos possíveis de reutilizar a areia descartada e analisou-se o resíduo gerado para conhecer seus componentes e sua classificação, a fim de considerar a viabilidade e possibilidade de reaproveitamento. Como principais resultados podem ser destacados a possibilidade de redução de custos com o reaproveitamento da areia como agregado em asfalto, uso da areia na produção de blocos de concreto e tijolos e recuperação térmica de areia.

Palavras-chave: Descarte. Logística reversa. Resíduo de areia de moldagem. Reaproveitamento.

ABSTRACT

This work aims to present ways of reusing the molding sand discarded by the company Hidro Jet. We sought to learn about the practices adopted by companies in the same segment as Hidro Jet, to identify possible processes for reusing the discarded sand and to analyze the waste generated to know its components and their classification, in order to consider the feasibility and possibility of reuse. As main results, the possibility of cost reduction with the reuse of sand as aggregate in asphalt, use of sand in the production of concrete blocks and bricks and thermal recovery of sand can be highlighted.

Keywords: Disposal. Reverse logistic. Molding sand residue. Reuse.

¹ Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (2016); Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (2012); Especialista em Gerenciamento de Projetos, pela Fundação Getúlio Vargas – FGV (2008); e Bacharel em Administração pela Universidade Federal do Rio Grande – FURG (2004).

² Bacharela em Administração pela Faculdade Cenecista Nossa Senhora dos Anjos – FACENSA (2013).

³ Mestre em Administração, pela Universidade Federal do Rio Grande - FURG (2020). MBA em Gestão estratégica de Negócios, pela Universidade Norte do Paraná - UNOPAR (2019); Aperfeiçoado em Tecnologias na Educação pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG (2019); e Bacharel em Administração pela Universidade Federal do Rio Grande - FURG (2017).

1. INTRODUÇÃO

A fundição compreende todo processo de fusão e vazamento de metais em moldes obtendo a requerida forma sólida. Os moldes de areia a verde são constituídos de uma mistura de areia base (5%), bentonita (1%), pó de carvão (2%) e areia do sistema (92%) (ABIFA, 2003). Após o processo de moldagem seguem-se as etapas de vazamento e desmoldagem, e a maior parte da areia usada retorna ao sistema para ser reutilizada sem qualquer tratamento prévio. Contudo, grande parte desta areia é perdida durante o processo de moldagem e desmoldagem, variando entre 10% e 20% aproximadamente do total produzido diariamente (REBELATO et al., 2017).

Ainda conforme Rebelato et al. (2017), gerenciar técnica e economicamente este excedente de areia torna-se importante em razão da majoração dos custos da areia base incluindo custos de transporte, diminuição da ação extrativa para preservação dos recursos naturais e dos custos elevados para disposição em aterros sanitários. Para tratar da disposição de excedentes como este, a Lei nº 12.305/10, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), contendo instrumentos importantes para o enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos (LEMOS, 2012).

A PNRS prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, propondo hábitos de consumo sustentáveis e instrumentos para permitir o aumento da reciclagem e reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos. Estabelece responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos, sendo eles: fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na logística reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo e pós-uso. Tem por objetivos principais a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental, não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços, adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais, incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial, voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluindo sua recuperação (LEMOS, 2012).

De acordo com Bonato et al., (2019), a diminuição da geração de resíduos e a reciclagem constituem práticas consideradas básicas e bastante necessárias, atingindo objetivos ambientais e econômicos através da redução de consumo de materiais e economia de taxas de disposição em aterros controlados. A regeneração de areias de fundição é um tema apresentado na literatura há mais de 30 anos, e vem sendo aplicada em diferentes processos nas fundições, sendo uma alternativa técnica e economicamente viável, dependendo dos volumes gerados (VARGAS et al., 2015).

A atual produção de resíduos urbanos e industriais tornou-se um grande problema para a sociedade, não apenas de ordem sanitária e ambiental, mas também de caráter social e econômico. A variável ambiental de grande destaque para as empresas atualmente é a preservação do meio ambiente. Essa afirmação baseia-se no destaque que vem sendo dado a este tema em encontros e fóruns internacionais de empresários, e principalmente, nas ações desenvolvidas pelas empresas no que diz respeito à preservação da natureza (VARGAS et al., 2015).

Ainda segundo Vargas et al. (2015), hoje a defesa do meio ambiente deixou de ser somente assunto de ecologista e passou a ter grande relevância nas estratégias empresariais. Algumas empresas estão procurando mudar a filosofia de satisfação das necessidades do consumidor, objetivando uma melhor qualidade de vida para a sociedade, buscando solucionar os problemas ambientais e, ao mesmo tempo, explorar as oportunidades de negócios (PEREIRA JUNIOR et al., 2019).

Conforme Bonato et al., (2019), no Brasil, muitas empresas estão se ajustando para atender aos apelos de proteção do meio ambiente, buscando soluções para a redução do impacto de suas atividades e o uso adequado dos recursos naturais. Assim começam a apresentar soluções para alcançar o desenvolvimento sustentável ao mesmo tempo em que aumentam sua lucratividade e melhoram sua imagem no mercado (GARCIA et al., 2019).

Silva et al., (2019) afirmam que a logística reversa é um assunto que vem ganhando ao longo do tempo mais espaço perante a sociedade e principalmente no meio empresarial. A reutilização de resíduos industriais é considerada ação positiva, tanto no que se refere à redução de custos, como também em sustentabilidade. A logística reversa é a área responsável pelo fluxo reverso de produtos ou materiais, que pode ser reciclagem, reutilização, *recall* e devolução.

A aplicação da logística reversa permite melhorar o gerenciamento do fluxo de retorno de materiais e obter vantagens competitivas através da utilização de produtos reciclados nos processos produtivos. Preocupa-se com o destino do produto ao final da sua vida útil. Essa preocupação consiste em encontrar alternativas sobre como fazer com que o material sem condições de ser reutilizado no processo que o originou, possa ser considerado insumo e retorne ao ciclo produtivo de outra indústria (PEREIRA et al., 2018; PEREIRA et al., 2019).

Para a empresa Hidro Jet, a reutilização da areia a verde descartada no processo de fundição poderá significar a possibilidade de agregar valor ao que hoje é tratado e destinado como lixo, evitando maiores gastos dos recursos naturais, minimizando o passivo ambiental gerado com seu descarte em aterros e permitindo um destino ambientalmente correto para esse resíduo. Impactando positivamente na imagem da empresa perante a sociedade, mostrando sua consciência ambiental e social.

Diante disso, o presente trabalho busca analisar a destinação de resíduos de areia de moldagem gerados pela empresa Hidro Jet, a fim de responder a seguinte pergunta: “O reaproveitamento da areia fundição trará benefícios à empresa Hidro Jet?”. Para isso, delimita-se como objetivo analisar formas de reaproveitamento para areia descartada no processo de fundição da empresa Hidro Jet, operacionalizando-se em: (i) identificar processos onde é possível o reaproveitamento da areia descartada; (ii) apontar as melhores práticas para a empresa Hidro Jet; e (iii) simular a redução de custos da empresa com envio da areia descartada para reutilização.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 LOGÍSTICA

A redução de custos atribuída à logística está associada à sua capacidade de reduzir os custos das operações através da gestão adequada dos estoques, dos transportes e do valor agregado em decorrência da disponibilização de produtos no momento e na quantidade certa a baixo custo, tornando viável ofertar um serviço superior para o cliente (PEREIRA JUNIOR et al., 2020). O valor agregado pode ser percebido por meio de benefícios intrínsecos, como

características físicas e desempenho, incluindo adequação de funções, facilidade de uso, qualidade e durabilidade e de benefícios intangíveis, como serviços, disponibilidade, atendimento, imagem da marca e da empresa. Porém valor intrínseco tem sido cada vez menos diferenciador, porque os produtos ofertados no mercado são em geral muito parecidos nas características e no desempenho (GARCIA et al., 2018; MOLON et al., 2018). Já o valor intangível é mais diferenciador devido a gama de opções possíveis na prestação de serviços e do elevado valor que os clientes associam a determinados tipos de serviços. Sendo assim, o crescimento da concorrência exige agregação de valor principalmente intangível, a partir do serviço ao cliente como meio para obter diferencial competitivo (BRITO; BRITO, 2007).

2.2 LOGÍSTICA REVERSA

As atividades de logística reversa variam desde a revenda de um produto até processos que abrangem inúmeras etapas como, coleta, inspeção, separação, levando a uma remanufatura ou reciclagem. A logística reversa envolve todas as operações relacionadas à reutilização de produtos e materiais, buscando uma recuperação sustentável. Trata-se do fluxo de materiais que retornam por algum motivo ao ciclo produtivo, seja por devoluções de clientes, retorno de embalagens, retorno de produtos e/ou materiais para atender à legislação, etc. A logística reversa não trata apenas do fluxo físico de produtos, mas também de todas as informações envolvidas nesse processo (SILVA et al., 2019).

A atenção dada à logística reversa vem crescendo bastante ao longo do tempo por diversos motivos. Inicialmente ela vinha de preocupações com meio ambiente e reciclagem, mas com o passar do tempo, razões econômicas expressas pela competição e pelo marketing tornaram-se grandes responsáveis pelo seu desenvolvimento. O aumento de retornos pode ser notado nas indústrias pelos processos de *recall*, termos de garantia, serviços de retorno e necessidade de descarte adequado ao final da vida útil (SILVA et al., 2019).

Segundo Pereira et al., (2019), há duas grandes áreas de atuação da logística reversa que se diferenciam pela fase do ciclo de vida útil em que o produto retorna. A área de pós-venda realiza o planejamento, operação e controle do fluxo físico de informações correspondentes de bens de pós-venda com pouco ou sem uso, que por diferentes motivos como validade expirada, erro de processamento de pedido, produto com defeito, avaria no transporte, falha no armazenamento, políticas de marketing ou garantias, retornam aos diversos elos da cadeia de distribuição direta (LEITE, 2010).

Os bens são gerados através da aquisição de matérias-primas, seguem para transformação e distribuição para o setor atacadista ou varejista, chegando ao cliente, consumidor final. Já o retorno desses bens ou produtos ocorre do consumidor final para o varejista, seja para reuso (mercado secundário) ou para reciclagem (mercado primário). Há também a possibilidade de retorno do varejista para o fabricante ou distribuidor e do atacadista para o fabricante ou fornecedor. As fases reversas que incluem esse retorno são coleta, seleção, consolidação e destinação (PEREIRA et al., 2018; PEREIRA et al., 2019).

A logística reversa de pós-venda tem objetivos econômicos, de competitividade, legais e logísticos. Os objetivos econômicos focam na recuperação de ativos e revalorização econômica, os de competitividade, focam em revalorização mercadológica, gerenciando e reduzindo o retorno dos bens e reposicionamento de estoques, possibilitando melhores oportunidades e aproveitamento de espaço na área de estoque. Os objetivos legais centralizam seus esforços no atendimento das leis ambientais, certificações, padronização e qualidade. Por

fim, os objetivos logísticos permitem identificar os tipos de bens e quantidades que retornam ao ciclo (LEITE, 2010).

Leite (2010) divide o fluxo reverso em três categorias de retorno de pós-venda, sendo elas: retorno comercial, retorno de garantia/qualidade e substituição de componentes. Retorno comercial divide-se em retorno comercial contratual e retorno comercial não contratual. Retorno comercial não contratual ocorre por erros do fornecedor nas vendas diretas ao consumidor final pelos varejistas, por meio de catálogos de produtos, pela internet e erros de expedição. Nesses casos a devolução acontece no momento do recebimento do produto ou em prazo determinado (LEITE, 2010).

Os casos de retorno comercial contratual ocorrem devido a acordos previamente definidos entre os envolvidos, no que se referem a prazos, quantidades, direitos, condições de armazenagem e estocagem, e de que forma ocorrerá a distribuição e retorno desses produtos. Como por exemplo, a venda de produtos consignados, onde ao final do contrato, os produtos não vendidos retornam ao fornecedor (LEITE, 2010).

São os produtos que retornam ao ciclo devido a falhas no funcionamento, defeitos de fabricação ou montagem, avarias na embalagem que afetam o funcionamento ou a qualidade de produto, término de validade ou problemas que causam o retorno do produto ao distribuidor ou fabricante (*recall*). Os produtos defeituosos por falha de funcionamento e os produtos danificados, que sofrem danos no manuseio, são devolvidos por empresas de vendas diretas ou consumidor final e os produtos com validade expirada são devolvidos ao fabricante ou fornecedor com base nos contratos firmados (PEREIRA et al., 2018; PEREIRA et al., 2019).

É a substituição de peças ou componentes dos bens duráveis e semiduráveis que após a remanufatura ou reciclagem retornam aos mercados primários ou secundários, porém esse retorno exige uma infraestrutura que permita que esse produto seja reparado antes de seguir para o consumidor final. A infraestrutura deve ser composta das fases de coleta, seleção, consolidação e destinação. A destinação deve prever envio para desmanche (produtos que podem ser em parte aproveitados), para mercado secundário de produtos, remanufatura para mercados secundários de componentes (peças e acessórios de reposição) e disposição final (aterros, incineração, etc.), (PEREIRA et al., 2018; PEREIRA et al., 2019).

Os canais de distribuição de pós-consumo se configuram conforme a fase de comercialização em que estes bens estão disponibilizados. Considera-se que não somente os bens em forma original passam por este canal, mas também partes, peças, materiais constituintes e resíduos, que de alguma forma poderão retornar à cadeia pelos canais de revalorização, que são desmanche, reuso ou reciclagem (LEITE, 2010).

Produtos duráveis são os produtos que tem duração de vida útil variando de alguns anos a décadas, são produzidos para satisfazer necessidades da vida social como, automóveis e edifícios. Produtos semiduráveis têm duração de vida útil de no máximo vinte e quatro meses. É uma categoria intermediária, às vezes apresentam característica de bens duráveis, ora de bens descartáveis, como baterias em geral e revistas. Os produtos descartáveis têm duração de vida útil de algumas semanas, raramente passam de seis meses, como embalagens e materiais de escritório (PEREIRA et al., 2018; PEREIRA et al., 2019).

Índices de reciclagem de um bem durável é o levantamento das quantidades recicladas de determinado bem em um período de tempo e em determinada região, relacionando com a quantidade produzida no mesmo período e localização avaliada. Índice de reciclagem dos componentes de um bem durável é o percentual de componentes ou de materiais reciclados de um determinado bem em relação ao seu peso. Índice de reciclagem do material constituinte é a

relação percentual relacionada à quantidade reciclada de determinado material constituinte em determinado período e a quantidade total produzida do material no mesmo período. São considerados materiais constituintes plásticos, borracha, vidros, metais, entre outros (PEREIRA et al., 2018; PEREIRA et al., 2019).

Para Lemos (2012, p.191): “Os resíduos são todos os restos de produtos utilizados que, sem valor para seu detentor, são abandonados, ainda que haja utilidade para outra pessoa ou possibilidade de reaproveitamento posterior.”. Atua em conjunto com a logística reversa, a logística verde ou marketing verde, no sentido de minimizar o impacto ambiental não só dos resíduos referentes à produção e de pós-consumo, mas de todos os impactos ao longo do ciclo de vida dos produtos (SILVA et al., 2019).

No marketing verde, a empresa divulga o que tem feito em benefício do meio ambiente e assim sensibiliza o consumidor para que ele também participe deste processo. A partir do momento em que se reduzem os danos ambientais, a qualidade de vida das pessoas, mesmo que indiretamente, também sofre melhorias (AMARAL et al., 2018).

2.3 REAPROVEITAMENTO DE PRODUTOS E MATERIAIS

Segundo Agrawal et al. (2015), a logística reversa pode trazer ganhos diretos às empresas através da recuperação de produtos e redução de custos com o descarte de materiais usados, não somente pela oportunidade de recuperar o valor de bens materiais, mas também, pela oportunidade de diferenciar os níveis de serviços oferecidos. Existem alguns fatores que precisam ser considerados na aplicação da logística reversa, sendo eles: fatores econômicos, governamentais, responsabilidade corporativa, tecnológicos e logísticos, além de fatores sociais que incluem governo, empresas e a sociedade em geral (AGRAWAL et al., 2015).

Ainda em Agrawal et al., (2015), os processos de logística reversa têm trazido bons retornos para as empresas. O reaproveitamento de materiais e a economia com embalagens retornáveis trazem ganhos que estimulam ainda mais novas iniciativas e unem esforços para desenvolvimento e melhoria nos processos (LONGARAY et al., 2018; PEREIRA JUNIOR et al., 2017; PEREIRA JUNIOR et al., 2020). Devido ao desenvolvimento tecnológico, que introduz novas tecnologias e materiais melhorando o desenvolvimento técnico dos produtos, a vida útil desses bens tem diminuído. O lançamento das inovações no mercado aumenta o nível de obsolescência desses produtos, tendendo-os a descartabilidade (LEITE, 2010).

Os elos entre desempenho ambiental, competitividade e resultados financeiros estão crescendo a cada dia. As empresas estão transformando a preocupação e o desempenho ambiental em uma arma competitiva. O aumento da preocupação social está levando ao desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos e à certificação de normas internacionais, como a ISO 14.001. As exigências de certificação estão transformando a relações entre ambiente e negócio. Já que a poluição representa materiais mal aproveitados devolvidos ao meio ambiente, ou seja, a maior parte da poluição resulta de processos ineficientes, que não aproveitam completamente os materiais (SILVA et al., 2019).

A área gerencial da empresa que analisa os impactos sobre o meio ambiente a curto e longo prazo e as gerações de resíduos dos seus produtos e processos é a área de Sistema de Gestão Ambiental (SGA). A implementação de um SGA tende a trazer diversas vantagens, como: diminuição da poluição, credibilidade da empresa, redução de riscos ao meio ambiente, aumento da margem de lucro, melhorias no sistema de gerenciamento interno da empresa, facilidade no comércio internacional, etc. (KLINSKY et al., 2014). A busca pelo desenvolvimento sustentável, que significa atender às necessidades da geração atual, sem

comprometer as futuras gerações no atendimento das suas próprias necessidades, trouxe a necessidade de que as empresas associassem o desenvolvimento econômico com a preservação do meio ambiente (KLINSKY et al., 2014). Com o crescimento do setor industrial, cresceu também a quantidade de resíduos gerados e a preocupação com o descarte desses resíduos que podem ser nocivos ao meio ambiente. Esses resíduos quando lançados no meio ambiente sem tratamento adequado geram impacto ambiental negativo (KLINSKY et al., 2014).

A disposição de resíduos de forma indiscriminada no solo pode causar poluição do ar, água, solo e lençol freático. Porém a localização adequada, a elaboração de projetos rigorosos, adoção de medidas operacionais, controles específicos e técnicas de reaproveitamento desses resíduos podem minimizar esses impactos. As indústrias de fundição têm como principal insumo a areia nova, que tem seus custos afetados principalmente pelo frete e tem como principal resíduo a areia descartada em seu processo, com os custos afetados pelas taxas cobradas para utilização de aterros. Os anseios dos órgãos ambientais para redução da destinação desse resíduo em aterros sanitários e geração de descartes não nocivos ao meio ambiente, têm levantado a necessidade às fundições e aos fornecedores de matéria-prima, tecnologia e equipamentos de estudarem processos de reciclagem de areia, com o objetivo de não aumentar os impactos ambientais causados. Para tal, vem se tentando diminuir o uso de aterros para descarte de resíduos e como alternativas aos aterros é preciso buscar maneiras para o reaproveitamento desses materiais (KLINSKY et al., 2014).

2.4 INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO NO BRASIL

A indústria de fundição é um segmento da economia que se caracteriza pela produção de bens intermediários e fornece seus produtos para indústrias de diversos segmentos. No Brasil, o setor de fundição é formado por cerca de 1,4 mil empresas, sendo 95% com perfil de pequeno e médio porte que geram cerca de 68 mil empregos. Desde 2005, o Brasil é o sétimo maior produtor mundial de fundidos. A produção de peças fundidas em ferro, aço e ligas não ferrosas se destina principalmente aos setores automotivo, de máquinas e equipamentos, energia, ferroviário e mineração. Em 2012, o faturamento destas indústrias foi de mais de US\$ 13 bilhões, com exportações totais de US\$ 1,32 bilhão (ABIFA, 05/2013).

Segundo dados da Associação Brasileira de Fundição (ABIFA), até 2017, as fundições brasileiras devem investir cerca de US\$ 3 bilhões, onde o maior montante, cerca de US\$ 2,2 bilhões deve ser investido pelas fundições de ferro fundido (ABIFA, 04/2013). O setor de fundição tem por característica principal o uso intensivo da mão de obra e como sua matéria-prima é toda de origem nacional há uma independência do mercado externo, gerando um número significativo de empregos diretos e indiretos nesta cadeia produtiva. Com exportações crescentes e não importando insumos, contribui para um resultado positivo na balança comercial do Brasil (ABIFA, 04/2013).

Este setor apesar de consumir sucatas metálicas como matéria-prima gera grandes volumes de resíduos sólidos, principalmente areia de moldagem e poeiras diversas. O processo de fabricação de peças fundidas utiliza grande quantidade de areia para confecção dos moldes e machos. O índice de consumo de areia, dependendo do tipo de peça, varia de 800 a 1.000 Kg para cada peça de 1.000 Kg (REBELATO et al., 2017).

A areia de moldagem, resíduo de maior volume gerado pela indústria de fundição, tem características quantitativas e qualitativas que se diferenciam em função das particularidades de cada processo, e que após ser utilizada em moldes fica contaminada por metais pesados,

dependendo da liga metálica utilizada. Trata-se de um bem não renovável, cujo beneficiamento geralmente causa impactos ambientais (REBELATO et al., 2017).

Segundo a NBR 10.004:2004, a Areia De Fundição (ADF) pode ser classificada como resíduo classe I – Perigoso, ou como resíduo classe II A – não inerte. Esta classificação depende do processo de moldagem e macharia utilizado. A ADF é um grave problema ambiental, e até hoje, em muitos locais, o descarte é feito em depósitos não licenciados pelos órgãos de controle ambiental. Com dados da ABIFA, de janeiro a agosto de 2003, a produção de fundidos atingiu 1.315.630 toneladas, sendo que as regiões Sudeste e Sul concentram 90% da produção nacional, tornando o problema mais evidente, com a necessidade de ampliar os aterros industriais (ABIFA, 2005).

Cabe citar que o passivo da ADF é de responsabilidade da empresa geradora. Havendo qualquer mudança na legislação, às empresas geradoras deverão dar um destino definitivo às areias com custos que certamente serão elevados (LEMOS, 2012). O causador da poluição arca com seus custos, respondendo pelas despesas de prevenção e reparação da poluição. Esta é uma premissa do princípio do poluidor-pagador, que aloca obrigações econômicas em relação às atividades poluidoras (LEMOS, 2012).

2.5 PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Normalmente há certa dificuldade quanto à identificação do tipo mais adequado de areia a verde a ser empregada pelas fundições, em razão da liga metálica a ser produzida e possível ocorrência de problemas com a mistura da areia, independentemente do tipo de misturador utilizado (ROMANUS, 2013). Romanus (2013) esclarece que há três tipos de areia de moldagem a verde, sendo Areia de Faceamento (AF), Areia de Enchimento (AE) e Areia de Sistema (AS). A empresa que possui moldagem manual normalmente utiliza de AF e AE. Porém, partindo para o uso de linhas automatizadas, a fundição conseguirá atingir a maior produtividade possível nas máquinas de moldar deixando de usar AF e trabalhando com AS, assim chamada, por ser somente um tipo de areia em todo o molde.

Na AS os pesos de todos os componentes são calculados sobre o peso da areia que retorna ao sistema e deve ser feita uma distinção entre a areia a verde destinada à moldagem mecanizada e a utilizada na moldagem automatizada, onde neste caso é necessário reduzir a umidade sem perda excessiva da compatibilidade, e isso, em princípio, é mais facilmente alcançado mediante o uso de maior adição de areia base, o emprego parcial de bentonita sódica natural e a utilização de um maior tempo de mistura (ROMANUS, 2013). Os componentes da areia de fundição (ADF) no processo de areia a verde são basicamente areia, bentonita, carvão e água. Processo de moldagem em areia a verde é chamado assim porque os moldes não sofrem secagem antes do vazamento (REBELATO et al., 2017).

A areia base, principal componente da areia de moldagem, é um material refratário em estado solto e granular extraída de barrancos ou de leitos de rios, e antes de ser utilizada pela fundição passa pelo processo de lavagem e de classificação granulométrica (REBELATO et al., 2017). A tabela 1, a seguir mostra a especificação do componente areia base.

Características	Valor mínimo	Valor máximo
Módulo de finura	60 AFS	70 AFS
Teor de finos	-	1,5%

Permeabilidade	80 AFS	110 AFS
Argila AFS	-	0,5%

Tabela 1: Especificação de areia base

Fonte: Adaptado de Romanus (2013).

A bentonita, principal aglomerante ou ligante da areia de moldagem, é uma argila extraída a céu aberto que junto com água desenvolve a função de formar um bolo compacto e resistente ao vazamento e solidificação, impedindo que o bolo se quebre e danifique a peça. A bentonita sódica natural possui melhor RTU (resistência a tração úmido), já a bentonita sódica ativada possui melhor RVC (resistência à compressão a verde) (BIOLO, 2005). A tabela 2, a seguir mostra a especificação dos componentes bentonita sódica ativada e bentonita sódica natural.

Características	Sódica Ativada	Sódica Natural
Umidade (5)	8 – 13	8 – 13
Inchamento (ml/ 2g)	35 – 50	30 – 40
Retenção na malha 200 (%)	máx. 15	máx. 15
AAM (ml/ 0,5g)	mín. 50	mín. 52
RCV (N/cm ²)	mín. 12	mín. 11
RTU (N/cm ²)	mín. 0,30	mín. 0,28

Tabela 2: Especificação de bentonita

Fonte: Adaptado de Romanus (2013).

O pó de carvão é comumente adicionado à receita de areia a verde devido a sua aplicação melhorar o acabamento superficial da peça e facilitar sua desmoldagem, prevenindo defeitos como sinterização e porosidades (BIOLO, 2005). A tabela 3, a seguir, mostra a especificação do componente carvão.

Características	Valor mínimo	Valor máximo
Voláteis (%)	50	75
Carbono Vítreo (%)	10	18
Cinzas (%)	-	10
Enxofre (%)	-	1,1
Umidade (%)	-	5,0

Tabela 3: Especificação de carvão

Fonte: Adaptado de Romanus (2013).

A água tem por principal característica tornar compacta a mistura dos componentes, garantindo que se obtenha a umidade desejada no momento em que a areia chegar na máquina de moldar, pois a umidade baixa diminui o inchamento da mistura dificultando o processo de

moldagem (POCOLA et al., 2017). Conforme Romanus (2013), a composição da receita da areia deve ser subdividida de acordo com a liga metálica a ser produzida, ou seja, específicas para peças de alumínio, peças de aço, peças de ferro ou para ligas de cobre. Neste trabalho, o foco está nas peças de ferro, por ser o tipo de material utilizado pela empresa Hidro Jet.

O material usado na confecção do modelo depende do processo de moldagem que está sendo utilizado. O modelo deve ter ângulos favoráveis à saída do molde, caso contrário o molde quebra durante a moldagem (ANDRADE et al., 2018). O processo de moldagem é regenerativo. O material existente no final do ciclo retorna ao sistema através de correias transportadoras, iniciando um novo ciclo onde é reutilizada a mesma areia, também chamada de areia de retorno, e com acréscimo de aditivos a cada nova mistura a fim de renovar a areia do sistema. Devido à perda de volume e descaracterização dos componentes da mistura é que se torna necessário o descarte da areia a verde (POCOLA et al., 2017).

O vazamento da peça pode ser feito sobre pressão, a vácuo, pó centrifugação ou por gravidade, sendo que por gravidade é o processo mais barato entre eles. Porém a principal diferença entre os processos de fundição está na forma de como é obtido o molde (ANDRADE et al., 2018).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa será realizada através do método pesquisa aplicada, que segundo Roesch et al., 2015, objetiva gerar conhecimento para aplicação prática e solução de um problema específico. Por preocupar-se com os processos analisados e não somente com os resultados encontrados, a forma de abordagem utilizada nesta pesquisa classifica-se em abordagem qualitativa, ou seja, não se preocupa com representatividade numérica e sim em aprofundar a compreensão de um grupo ou de uma organização e tem caráter descritivo. Conforme Roesch et al., 2015, os fenômenos qualitativos são caracterizados por profundidade, compreensão, explicação, realização, rotina, repetição, superficialidade, trivialidade, entre outros.

A coleta dos dados foi realizada através do método de observação direta participante, que tem como principal característica o propósito de identificar por si mesma os problemas, analisar criticamente e buscar soluções, tem origem na ação educativa e tem o envolvimento ativo do grupo pesquisador nas diversas fases da pesquisa, desde a identificação do problema até a disseminação dos resultados (ROESCH et al., 2015).

No segundo momento foi avaliada entre as alternativas encontradas, a melhor alternativa para a empresa e realizado uma simulação da redução de custos, caso esta areia deixe de ser descartada em aterros e passe a ser reutilizada. A análise da pesquisa se deu por interpretação, já que este método busca um sentido amplo nas respostas, estabelece relação entre os resultados da pesquisa e o conhecimento anteriormente adquirido, tem por objetivo organizar e classificar os dados coletados para que se chegue a respostas e conclusões para o problema (ROESCH et al., 2015).

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

4.1 APRESENTAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

A empresa Hidro Jet foi fundada em 1.980 na cidade de Caxias do Sul/RS e a mineração de ouro e diamante foram suas primeiras atividades. Atualmente a empresa conta com três unidades fabris: a matriz onde possui usinagem, zincagem e fundição, situada na cidade de

Feliz/RS, a unidade de microfusão e usinagem, em Caxias do Sul/RS e a fundição de ferro na cidade de Porto Alegre/RS.

A filial em Porto Alegre/RS, foco deste trabalho, possui aproximadamente 160 colaboradores e atua no mercado de fundidos com sistema de moldagem em areia a verde, tendo como seu maior resíduo a areia de moldagem. A empresa produz em média 7.400 toneladas de peças/ano e gera aproximadamente 2.346 toneladas/ano, uma média aproximada de 8,89 toneladas/dia de resíduo de areia, resíduo este que destinado em aterro gera passivo e impacto ambiental.

Atualmente seu foco de negócio é produção de peças para indústria automotiva e de energia. A Hidro Jet é considerada uma das maiores produtoras individuais de eletroferragens do mundo. Buscando atender a demanda mundial de qualidade, meio ambiente e saúde e segurança ocupacional, mantém um sistema de gestão integrado nas seguintes normas: ISO 9.001:2008, ISO 14.001:2004, OHSAS 18.001:2007 e TS 16.949:2009 e trabalha para modernização do sistema de gestão integrando os requisitos comuns destas quatro normas.

4.2 IDENTIFICAÇÃO DE PROCESSOS

O reuso da areia está associado à utilização da areia de fundição descartada como agregado em aplicações externas a indústria de fundição. Inicialmente buscou-se conhecer empresas do ramo de fundição, situadas na região metropolitana de Porto Alegre/RS e arredor, para que fosse possível obter informações sobre o destino dado ao seu resíduo de areia. Posteriormente foi realizado contato com estas empresas através de telefone e e-mail, solicitando as informações desejadas, fazendo uso de questionário não estruturado que contemplou perguntas relacionadas ao tipo de moldagem utilizado e qual destino dado à areia utilizada em seu processo.

Na busca de identificar os processos possíveis de reutilizar esta areia, foi feito contato com algumas empresas do segmento metal-mecânico situadas em São Leopoldo/RS, do ramo de armas e de ferramentas motorizadas, para conhecer suas formas de utilização de areia, porém verificou-se que o processo de moldagem destas empresas é diferente do processo da Hidro Jet, e por ser outro tipo de aplicação não foi possível comparar estes processos. Outras empresas que também forneceram informação sobre o destino dado ao seu resíduo localizam-se em Gravataí/RS e Venâncio Aires/RS, mas assim como a Hidro Jet, também enviam a areia descartada em seu processo de fundição para aterro.

Como as informações recebidas das empresas citadas acima não foram suficientes e relevantes para estudar formas de reaproveitamento, devido à diferença existente no processo de moldagem e por destinarem a areia da mesma maneira, novas informações foram buscadas através de artigos e estudos realizados anteriormente, referentes a algumas empresas bastante conhecidas no ramo de fundição nos estados de Santa Catarina e São Paulo, além do Rio Grande do Sul.

A Femaq, localizada em Piracicaba/SP, foi à primeira empresa no Brasil a reutilizar a areia de fundição na produção de blocos de concreto para a construção civil, criou o conceito de construção sustentável em todo interior paulista. Foram realizadas diversas pesquisas para o uso da areia, buscando os melhores resultados, equilibrando desenvolvimento e meio ambiente. Já a Recibloco foi à primeira empresa a obter a licença ambiental da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) no processo de uso de areia de fundição. Através de um sistema de recuperação de areia de fundição a empresa recupera 85% do material em seus processos próprios.

A partir do momento em que as características da areia não atendem as especificações de moldagem na fundição, a areia depois de ser recuperada, torna-se matéria-prima para a produção de blocos e pavimentos. Assim, há uma diminuição na quantidade de cimento porque a areia já vem com cimento da fundição. A empresa Femaq gera aproximadamente 200 toneladas/mês de resíduo de areia da sua fundição, sendo este totalmente consumido pela Recibloco. O cimento é adicionado à areia já no seu primeiro uso, passando a ser considerada matéria-prima, como areia aditivada, onde o cimento é hidratado no momento da fabricação dos blocos que atendem as normas técnicas de resistência NBR 6136:2007. A empresa Metalúrgica Cercena S.A, localizada em Erechim/RS, envia atualmente sua areia descartada para ser reutilizada no processo de fabricação de tijolos.

A primeira etapa realizada foi a análise química da amostra de areia fornecida pela empresa Metalúrgica Cercena S.A, e posterior envio da amostra para a empresa Cerâmica Getuliense, localizada em Getúlio Vargas/RS. O estudo realizado por Biolo (2005) avaliou a qualidade dos tijolos de seis furos, produzidos com agregado de ADF, em comparação ao produto original. No teste realizado, foram utilizados três tipos de argila vermelha e a areia a verde. Durante a formulação dos testes foram realizados dois lotes de tijolos, um lote com a presença do resíduo e outro lote sem este resíduo. No lote em que foi incorporado o resíduo, a areia a verde foi empregada substituindo a argila de maior concentração de sílica, substituindo 10% do peso em massa, sendo misturada a seco, em misturador excêntrico por 15 minutos sem acréscimo água, para adquirir plasticidade através da umidade natural das argilas.

Em seguida o material foi peneirado e conformado em prensa hidráulica, moldando corpos de prova com dimensões aproximadas de 60x60x9mm. A secagem dos corpos de prova foi realizada ao ar livre por 24 horas e a queima realizada em forno tipo mufla, com temperatura de 800°C, 900°C e 950°C, por 2 horas com taxa de aquecimento de 150°C/hora. Após a queima, foram separados cinquenta e dois tijolos com uso do resíduo e enviados vinte e seis para ensaio de resistência a compressão e absorção de água, e outros vinte e seis para verificação das características geométricas.

Foram também realizados testes de solubilização (ensaio para classificar o resíduo em inerte e não inerte) e testes de lixiviação (processo em que um sólido em contato com um líquido em meio ácido, transfere componentes do sólido para o líquido, o que determina se o resíduo é ou não perigoso). Os ensaios acima não indicaram potencial poluidor nos tijolos com adição de areia a verde. Com uso de areia a verde foi verificado um aumento na absorção de água, em função da granulometria da ADF ser maior que a da argila e do uso do pó de carvão, que se volatiliza deixando espaços internos. Também se percebeu um decréscimo da resistência mecânica, devido à maior porosidade. Sendo então recomendado melhorar a homogeneização da massa.

O limite de plasticidade do corpo de prova com agregado de areia a verde foi de 29,9%, enquanto o recomendado é de 18% a 30%. Indicando que na quantidade de adição de ADF estudada, houve adequação em relação à plasticidade (SILVA et al., 2019). Em relação à análise dos gases, não foi encontrada a presença de poluentes em concentração elevada. Em relação às características dimensionais os dois tipos de tijolos foram aceitos sem restrições.

Durante o teste de fabricação com agregados de areia a verde, a produção de tijolos da empresa Getuliense se manteve conforme estimado, aproximadamente 1.070 tijolos queimados por hora. Pavimento de concreto asfáltico é a combinação de camadas que incluem uma superfície de concreto asfáltico construída sobre a base e sub-base. A superfície é a camada que recebe os impactos dos veículos, a base é uma camada granular que trabalha à compressão

vertical e a sub-base é a camada que fornece suporte a base transmitindo ao sub-leito (superfície do solo após terraplanagem) esforços compatíveis com sua camada de suporte (ANDRADE et al., 2018).

A empresa Voges, localizada em Caxias do Sul/RS, foi pioneira em estudos de destinação da ADF no país e iniciou os trabalhos de soluções para reaproveitamento externo da ADF contribuindo para formulação da norma NBR 15.702:2009 - Areia Descartada de Fundação - Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário, com participação em reuniões mensais na sede da ABIFA em São Paulo.

Em sua parceira neste projeto, a empresa Toniolo Busnello, recebeu da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (Fepam) a concessão de licença de operação (LO) para utilização de ADF como base para o asfalto. A partir da LO, a Toniolo Busnello previu utilizar mensalmente 750 toneladas de ADF da empresa Voges na unidade de Farroupilha/RS (400 para aplicação em asfalto e 350 para a base) e 1.700 toneladas na unidade de Portão/RS (700 para asfalto e 1.000 para a base). No total, serão 2.450 toneladas mensais de ADF que deixarão de ser resíduo e passarão a integrar a cadeia produtiva como matéria-prima. A ADF pode ser usada tanto para a fabricação do asfalto a quente como na mistura de areia, brita e pedrisco, utilizada como base para asfalto, o que amplia a possibilidade de aplicação.

O diretor da Toniolo Busnello, Humberto Busnello, diz que além do asfalto, também está sendo substituída a areia natural pela ADF na base asfáltica e na sub-base, e afirma que tecnicamente estão tendo os mesmos resultados. A prova do sucesso deste trabalho é que o asfalto da nova rótula entre Caxias do Sul/RS e Flores da Cunha/RS, realizado pela Toniolo Busnello, já foi feito com ADF da empresa Voges.

O teste realizado por Andrade et al., (2018), utilizou para a preparação do asfalto, pedrisco, pó de brita e brita 01, coletado em Pirabeiraba/SC, e resíduo de ADF gerado na empresa Tupy Fundições, situada em Joinville/SC. Nas amostras coletadas foi realizada análise granulométrica e cada fração granulométrica de ADF foi estabelecida com o método de Marshall, que consiste em determinar o traço da mistura, ou seja, determina diversos agregados minerais utilizados e ajuda a determinar a porcentagem de asfalto que satisfaça os requisitos mínimos de estabilidade especificados. Foram preparados quatro corpos de prova com 5%, 10% e 15% de ADF e submetidos à ruptura.

O corte dos corpos de prova foi feito com serra diamante com resfriamento de água para não aquecer os corpos de prova. Após os cortes, os corpos de prova foram armazenados em ambiente livre de umidade e posteriormente preparados para análise da microestrutura. A análise da microestrutura identificou melhor resultado na amostra que utilizou 5% de ADF por obter boa interface entre o ligante e o agregado. Ainda que todos os corpos de prova satisfaçam as especificações da norma DNIT 313/97, este estudo recomendou a utilização de cal para melhorar os resultados que se encontraram muito próximos aos limites máximos.

O processo de recuperação térmica também pode ser chamado de calcinação, porém é pouco utilizado no Brasil. Este processo é muito eficiente na remoção da resina aglomerada em grãos de areia. O funcionamento do equipamento provoca a queima da resina aglomerada entre as temperaturas de 640°C e 800°C. Para que o processo de queima aconteça corretamente, a areia deve permanecer dentro do recuperador por um período de 15 minutos, assim se garante a queima total da resina residual.

Após este processo, a areia de fundição volta a possuir características de areia nova, com a vantagem de possuir grãos mais uniformes e já expandidos, reduzindo a necessidade de grande volume de areia nova ser adicionado ao sistema. Apesar do consumo de areia nova ainda

existir, o volume se torna inferior ao adicionado no processo de recuperação mecânica de areia. Sendo utilizada somente para repor os finos que foram extraídos durante o processo de recuperação. O investimento com a instalação de sistemas de recuperação térmica pode trazer retorno satisfatório em até um ano e meio, pois é possível reduzir a compra de areia nova, os custos com transportes desse material e o descarte de areia em aterros. Estes equipamentos podem ser encontrados com capacidades de 250 kg/h até 12.000 kg/h e podem funcionar com gás GLP ou gás natural.

Com o objetivo de conhecer as características, composição química, classificação da areia de moldagem da empresa Hidro Jet e avaliar a possibilidade de reaproveitamento, foram coletadas amostras para análises e enviadas para o laboratório Econsulting, na cidade de Viamão/RS. Foram realizados ensaios de lixiviação, que determina capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido através da dissolução no meio extrator, conforme NBR 10.005:2004, e ensaios de solubilização, que de acordo com a NBR 10.006:2004, estabelece os requisitos exigíveis para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. O resíduo foi classificado conforme a NBR 10.004:2004, como classe II A - Não Inertes.

4.3 AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS ENCONTRADAS E SIMULAÇÃO DE REDUÇÃO DE CUSTOS

Foi avaliado, através de contato via telefone, uma possível parceria com uma empresa fabricante de tijolos situada na região serrana do RS, porém antes mesmo de ser enviada uma amostra de areia para teste em fabricação de tijolos, o processo foi descartado devido ao desacordo em relação ao custo de envio da areia para esta empresa. Atualmente paga-se para o aterro, localizado em Gravataí/RS, que recebe o resíduo de areia gerado pela Hidro Jet, o valor de R\$ 138,00/m³, incluindo custo de frete.

Considerando que o descarte realizado pela empresa aproxima-se de 196 toneladas/mês, equivalente a 130,67m³/mês (areia de granulometria média equivale a 1.500 Kg/m³), tem-se um desembolso mensal de R\$ 18.032,46. Há como possibilidade para receber este resíduo, determinada empresa que em parceria com outras fundições, faz tratamento e incorpora na forma de agregados resíduos da indústria de fundição na produção de asfalto ecogênico usinado a frio, sob licença de operação da Fepam. O valor cobrado para receber este resíduo é de R\$ 84,00/m³, com preço de frete incluído. Caso esta empresa passe a receber o resíduo de areia gerado pela Hidro Jet, o custo total mensal com este envio seria de R\$ 10.976,28.

Comparando os valores referidos em relação ao descarte de resíduos, se a areia atualmente descartada em aterro for destinada para ser usada como agregado em asfalto, a empresa deixaria de gastar R\$ 7.056,18/mês, vindo a economizar aproximadamente R\$ 84.674,16/ano, além de contribuir com a redução do impacto ambiental causado por este resíduo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a pesquisa realizada percebeu-se que apesar da importância da conscientização ambiental e do impacto financeiro gerado com o descarte de ADF em aterros, o reaproveitamento da areia ainda não é considerado por algumas organizações. O objetivo deste trabalho foi identificar formas de reaproveitamento de ADF. E com base nas formas de

reaproveitamento estudadas e simulação de redução de custos realizada, conclui-se como sendo a prática recomendada para a empresa Hidro Jet, a reutilização de ADF na produção de asfalto.

Esta afirmação se dá, devido aos bons resultados encontrados nos materiais analisados que utilizaram a areia descartada e a conformidade obtida nos resultados em relação a norma NBR 15.702:2009. A norma NBR 15.702:2009 estabelece as diretrizes para a aplicação da areia de fundição em asfalto e em aterro sanitário. Define as condições a serem obedecidas em relação à classificação do resíduo, concentrações máximas de elementos químicos em ensaios determinados, obtenção de autorizações ambientais juntos a órgãos competentes, documentações a serem geradas e procedimentos a serem executados pelos envolvidos, sejam eles geradores (utilizadores de areia no processo de fundição), gestores (responsáveis por receber e destinar a areia) ou usuários (responsáveis por receber, reciclar ou reutilizar a areia).

As restrições encontradas na pesquisa foram à inexistência de normas para utilização de ADF na produção de tijolos, ainda que estudos realizados tenham tido bons resultados, a confecção de normas específicas é importante para favorecer práticas sustentáveis em relação ao tratamento de resíduos e adequações das necessidades e obrigações ambientais das empresas. Assim como não ter sido realizado testes práticos com a areia descartada pela Hidro Jet, já que esta pesquisa contemplou somente análise do resíduo gerado, estudos das práticas adotadas e simulação de redução de custos. E, por fim, não foi encontrado estudos relevantes referentes a prática de recuperação térmica da areia de moldagem, e sim estudos recomendando o uso deste processo para areia descartada de macharia, resíduo este que não se enquadra no objetivo desta pesquisa.

Aproximadamente 35% da areia descartada pela empresa Hidro Jet é pó de finos (resíduo da queima da areia) que são coletados nos equipamentos exaustor e resfriador. A separação de pó de finos da areia de moldagem se dá pelo uso de separador magnético, dotado de ímãs permanentes e de alta intensidade que atraem o material ferroso. Constituído de uma capa giratória em aço inoxidável, o separador arrasta o material ferroso até o fim do campo magnético, separando-os do material não ferroso, que cai por gravidade. A empresa coleta o pó de finos da areia de moldagem em pontos diferentes da fábrica, porém no momento de descarte, estes resíduos são colocados juntos na mesma caçamba que os transporta para o aterro, o que impactou nos resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização, devido à grande concentração de metais existentes.

Com base no resultado da análise para determinação de metais no resíduo de areia de moldagem e amostra de pó de finos, para trabalhos futuros, recomenda-se que além de coletada, seja também armazenada separadamente a areia de moldagem e o pó de finos, e posteriormente sejam feitas novas análises para avaliação do resíduo gerado. Desta forma será possível validar os resultados obtidos e avaliar se o resíduo de areia de moldagem gerado pode ser enviado para testes práticos para aplicação em asfalto.

REFERÊNCIAS

AMARAL, I.; BONATO, S. V.; PEREIRA JUNIOR, E. F. Z.; SCHROEDER, E. A.; ABRITA, N. O método MILK-RUN como estratégia para redução de custos logísticos: um estudo de caso. In: XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 38., 2018. **Anais eletrônicos**. Maceió, 2018. p. 1-16.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – **Comissão de meio ambiente**. Manual de regeneração e reuso de areias de fundição. São Paulo: Gráfica Ave Maria, v. 5, fevereiro/2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO – **Fundição e matérias-primas**. São Paulo: Gráfica Ave Maria, v. 155, abril/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004:2004** - Resíduos sólidos – classificação.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR. 10.005:2004** - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006:2004** - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136:2007** - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.702:2009** - Areia descartada de fundição – Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário.

AGRAWAL, S.; SINGH, R. K.; MURTAZA, Q. A literature review and perspectives in reverse logistics. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 97, p. 76-92, 2015.

ANDRADE, L. D. B.; CARNIN, R. L. P.; PINTO, R. C. D. A. Areia descartada de fundição para uso em concreto de cimento Portland: análise do agregado. **Matéria**, v. 23, n. 3, p. 1-14, 2018.

BIOLO; S. M. **Reuso do resíduo de fundição em areia verde na produção de blocos cerâmicos**. 2005. 162 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2005.

BONATO, S. V.; ISOPPO, A. S.; dos SANTOS, C.; PEREIRA JUNIOR, E. F. Z. Iniciativas de desenvolvimento de fornecedores: estudo de caso em uma indústria de equipamentos de limpeza. In: XXVI Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP), 26., 2019. **Anais eletrônicos**. Baurú, SP. 2019. p. 1-14.

BONATO, S. V.; ZIMMER, R. PEREIRA JUNIOR, E. F. Z. Otimização da mão de obra e definição do layout de uma linha de montagem de lixeiras. **Revista eletrônica de administração e turismo – ReAT**. v. 13, n.2, p. 37-52, 2019.

BRITO, R. P. D.; BRITO, L. A. L. Ventaja competitiva, creación de valor y sus efectos sobre el desempeño. **Revista de Administración de Empresas**, v. 52, n. 1, p. 70-84, 2012.

GARCIA, D. R.; PEREIRA JUNIOR, E. F. Z.; MENDES, C. D. O.; COSTA, A. A. D. Desempenho em serviços públicos: uma análise bibliométrica da produção científica entre 2007 e 2017. In: XVII Mostra de Produção Universitária da Universidade Federal do Rio Grande / XXVII Congresso de Iniciação Científica - MPU-FURG/CIC, 17., 27. Rio Grande. **Anais eletrônicos**. Rio Grande, 2018. p. 1-3.

GARCIA, D. R.; PEREIRA JUNIOR, E. F. Z.; CUNHA, F. R. Inovação e consumo sustentável: uma análise bibliométrica de 20 anos da publicação mundial. In: X Mostra de produção acadêmica – MPA, 10., 2019. **Anais eletrônicos**. Rio Grande, 2019. p. 1-4.

KLINSKY, L. M. G.; BARDINI, V. S. D. S.; FABBRI, G. T. P.. Efeito da adição de areia de fundição residual e cal a solos argilosos no módulo de resiliência. **Transportes**, v. 22, n. 2, p. 1-10, 2014.

LEITE, P.R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LEMONS, P.F.I. **Resíduos sólidos e responsabilidade civil pós - consumo**. 2. ed. São Paulo: Revista dos tribunais Ltda, 2012.

LONGARAY, A. A.; PEREIRA JR., E. F. Z.; MUNHOZ, P. R.; TONDOLO, V. G. Proposals for redesigning processes and the role of organizational teams: an analysis of scientific production in the light of bibliometrics. **Sistemas & Gestão**, v. 13, n. 2, p. 246-25, 2018.

MOLON, H. D. M.; PEREIRA JUNIOR, E. F. Z.; D'AVILA, L. C.. Desempenho: estudo bibliométrico com base nas publicações de revistas inseridas no Qualis a2. In: XVII Mostra de Produção Universitária da Universidade Federal do Rio Grande / XXVII Congresso de Iniciação Científica - MPU-FURG/CIC, 17., 27. Rio Grande. **Anais eletrônicos**. Rio Grande, 2018. p. 1-3.

PEREIRA, F. D. S.; BONATO, S. V.; PEREIRA JUNIOR, E. F. Z.; CZARNESKI, F. R. C.; D'ÁVILA, L. C. Caracterização da produção científica sobre ambientes de produção enxuta sustentável: uma análise das publicações entre 2007 e 2017 através da bibliometria. **Revista livre de sustentabilidade e empreendedorismo (Relise)**, v. 4, n. 6, p. 177-199, 2019.

PEREIRA, F. D. S.; PEREIRA JUNIOR, E. F. Z.; BONATO, S. V.; CZARNESKI, F. R. C. Ambientes de produção enxuta sustentável: proposta de um estudo bibliométrico. In: XXIX Encontro Nacional de Cursos de Graduação em Administração - ENANGRAD, 29., 2018, São Paulo. **Anais eletrônicos**. São Paulo, 2018. p. 1-18.

PEREIRA JUNIOR, E. F. Z.; LONGARAY, A. A.; MUNHOZ, P. R. S. Propostas de redesenho de processos e o papel das equipes organizacionais: uma análise da produção científica à luz da bibliometria. In: XXVIII Encontro Nacional de Cursos de Graduação em Administração - ENANGRAD, 28, 2017, Brasília. **Anais eletrônicos**. Brasília, 2017. p. 1-18.

PEREIRA JUNIOR, E. F. Z.; LONGARAY, A. A. MUNHOZ, P. R. da S. Papel da equipe organizacional no mapeamento de processos de uma secretaria de educação a distância de uma universidade federal. **EmRede - Revista de Educação a Distância**, v. 7, n. 1, p. 21-41, 2020.

PEREIRA JUNIOR, E. F. Z.; SCHROEDER, E. A.; DOLCI, D. B. Limitações digitais, causas e consequências na efetividade do uso do site trello no planejamento estratégico de uma secretaria de educação a distância de uma universidade federal. **EmRede-Revista de Educação a Distância**, v. 6, n. 1, p. 69-85, 2019.

PEREIRA JUNIOR, E. F. Z.; RIBEIRO, N. F.; D'AVILA, L. C. Aspectos valorizados por clientes que levam à fidelização em empresa de serviços gráficos: um estudo de caso. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 45, n. 2, p. 1-13, 2020.

POCOLA, A.; SERBAN, A.; BALAN, M. Complex and efficient waste heat recovery system in aluminum foundry. **Energy Procedia**, v. 112, n. 1, 504-509, 2017.

REBELATO, M. G.; SARAN, L. M.; CURY, V. B.; RODRIGUES, A. M. Environmental performance analysis: foundry industry case report. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 28, n. 2, p. 248-263, 2017.

ROESCH, S. M.; BECKER, G. V.; de MELLO, M. I. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração: guia para estágios**, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso. São Paulo: Atlas, 2015.

ROMANUS, A. **Areia de Moldagem a Verde: Tipos, Composições, Matérias-Primas e Variáveis de Processo**. [2013]. Disponível em: <<http://foundrynews.com.br/artigos/ver/53/areia-de-moldagem-a-verde-tipos-composicoes-materias-primas-e-variaveis-de-processo>>. Acesso em 25 mai. 2020.

SILVA, M. B. D. S.; BONATO, S. V.; ABRITA, N. F. M.; PEREIRA JUNIOR, E. F. Z. Análise do retorno de paletes e chapatex em empresas de bebidas. **Revista latino-americana de inovação e engenharia de produção - RELAINEP**, v. 7, n. 11, p. 68-81, 2019.

VARGAS, A. S. D.; SCHNEIDER, E. L.; SCHMITZ, G.; AQUIM, P. M. D. Argamassas geopoliméricas à base de cinzas volantes álcali-ativadas contendo areia de fundição. **Cerâmica**, v. 61, n. 359, p. 317-322, 2015.