

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEANDRO BARBI SPECKHAHN

NÍVEL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA RELACIONADA ÀS ALTERNATIVAS DE
VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO DE
UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

CURITIBA

2024

LEANDRO BARBI SPECKHAHN

NÍVEL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA RELACIONADA ÀS ALTERNATIVAS DE
VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO DE
UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de MBA em Projetos Sustentáveis e Inovações Ambientais, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientadora: Profa. Ma. Silvana Bárbara Gonçalves da Silva

CURITIBA

2024

NÍVEL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA RELACIONADA ÀS ALTERNATIVAS DE VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO DE FUNDIÇÃO DE UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Leandro Barbi Speckhahn

Engenheiro ambiental, Especialista em Perícia, Auditoria e Gestão Ambiental.

Universidade Federal do Paraná (UFPR) – leandro.spec@gmail.com

RESUMO

As atividades industriais se destacam pelo consumo de energia e matérias-primas utilizados para converter materiais básicos em produtos. Esse processo, inevitavelmente, culmina na produção de resíduos sólidos. Na indústria de fundição os resíduos gerados incluem principalmente as areias de moldagem, os resíduos dos sistemas de exaustão, areias de macharia e areias de varrição que são classificadas como areias descartadas de fundição (ADF) em maior volume. Porém, as escórias, os resíduos de materiais refratários, entre outros, compõem um volume significativo proporcionando grande impacto ambiental na cadeia produtiva. Diante dos volumes expressivos dos resíduos gerados, se faz necessário o estudo de alternativas tecnológicas visando a valorização desses resíduos. É fundamental que sejam incorporadas metodologias de gestão da inovação que contribuam significativamente para a condução dos processos. Nesse contexto, destaca-se a *Technology Readiness Level* – TRL -, uma metodologia desenvolvida pela *National Aeronautics and Space Administration* – NASA. A aplicação do TRL pode fornecer contribuições concretas e valiosas para todo o processo de inovação, garantindo a eficiência e o sucesso das iniciativas empreendidas. A partir disso, o objetivo deste estudo reside em avaliar o nível de maturidade tecnológica de alternativas relacionadas a valorização de resíduos industriais do processo de fundição. O trabalho foi conduzido por meio de um estudo de caso, revisão bibliográfica narrativa e pesquisa documental, onde foram analisados diferentes métodos e tecnologias que possibilitam o tratamento, reutilização e reciclagem dos resíduos de fundição, bem como, o nível de maturidade tecnológica que os métodos e tecnologias se encontram. A contar desse momento, foram selecionadas 10 alternativas de valorização de resíduos e, por meio da avaliação do nível de maturidade tecnológica, foi possível observar que as alternativas se encontravam entre os níveis 2 e 7, demonstrando que ainda não estão na fase operacional, necessitando de investimentos e pesquisas para escalonar para o mercado.

Palavras-Chave: Gestão de resíduos. Valorização. Maturidade tecnológica. Fundição. Resíduos industriais.

ABSTRACT

Industrial activities stand out for their consumption of energy and the raw materials used to convert basic materials into products. This process inevitably culminates in the production of solid wastes. The waste generated in the foundry industry mainly includes molding sand, waste from exhaust systems, machining sand, and sweeping sand, which are classified as discarded foundry sand (ADF) in large volumes. However, slag and waste from refractory materials make up a significant volume, causing a significant environmental impact on the production chain. Given the significant volume of waste generated, it is necessary to study technological alternatives aimed at valuing this waste. Innovation management methodologies that significantly contribute to the conduct of processes must be incorporated. In this context, Technology Readiness Level (TRL) is a methodology developed by the National Aeronautics and Space Administration (NASA). The application of TRL can provide concrete and valuable contributions to the innovation process, ensuring the efficiency and success of the initiatives undertaken. Therefore, the objective of this study is to evaluate the technological maturity of alternatives related to the recovery of industrial waste from the foundry process. The study was conducted through a case study, narrative bibliographic review, and documentary research, in which different methods and technologies that enable the treatment, reuse, and recycling of foundry waste were analyzed, as well as the level of technological maturity that the methods and technologies meet. From that moment on, 10 waste recovery alternatives were selected, and through the assessment of the level of technological maturity, it was possible to observe that the alternatives were between levels 2 and 7, demonstrating that they are not yet in the operational phase, requiring investments and research to scale to the market.

Keywords: Waste Management. Recovery Technological maturity. Foundry industry.
Industrial waste.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 GESTÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	8
2.3 NÍVEIS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
4.1 EMPRESA DO ESTUDO DE CASO	18
4.2 RESÍDUOS DE FUNDIÇÃO	19
4.3 ANÁLISE DO NÍVEL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA DAS ALTERNATIVAS DE VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS	20
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

A indústria de fundição é de grande importância na economia mundial e brasileira, produzindo e fornecendo seus produtos a diversos setores industriais, destacando-se principalmente na produção automotiva (DELGADO, 2021).

Segundo a Associação Brasileira de Fundição (2023), em 2022 o setor de fundição produziu 2,97 milhões de toneladas de fundidos e a região sul do Brasil representa 46% do volume produzido. No entanto, o aumento da produção de fundidos também resulta no incremento do volume de resíduos gerados (XIANG *et al.*, 2019).

Os resíduos gerados no processo de fundição são classificados como resíduos industriais e a Política Nacional de Resíduos Sólidos, no Art. 9º, define a seguinte ordem de prioridade da gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Segundo Bonato *et al.* (2020), a ordem de prioridade da gestão de resíduos incentiva a adoção de padrões sustentáveis na produção e consumo de bens e serviços, bem como a incorporação, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas, visando à redução dos impactos ambientais.

Na indústria de fundição, os resíduos gerados incluem principalmente as areias de moldagem, os resíduos dos sistemas de exaustão, areias de macharia e areias de varrição que são classificadas como areias descartadas de fundição (ADF) em maior volume. Porém, as escórias, os resíduos de materiais refratários, entre outros, compõem um volume significativo proporcionando grande impacto ambiental na cadeia produtiva (BOŻYM, 2020).

Diante dos volumes expressivos dos resíduos gerados, se faz necessário o estudo de alternativas tecnológicas. Por exemplo, em relação às areias descartadas de fundição, Bożym (2019) afirma que podem ser reutilizadas nos setores de obras rodoviárias e construção civil. Para o resíduo de refratário, Santos (2023) diz que uma possibilidade para o seu aproveitamento na indústria de fundição é os utilizar como revestimentos refratários, servindo como uma camada de sacrifício principalmente em painéis utilizadas para o abastecimento de ferro fundido. Em relação a escória, Teixeira *et al.* (2018) avaliaram a adição da escória de fundição na produção de

cerâmicas estruturais, apresentando a viabilidade do uso do resíduo e melhorando a qualidade das peças produzidas.

Devido à complexidade do desenvolvimento de tecnologias, tal como a variedade de informações que estes projetos estão submetidos, uma quantidade considerável de fatores de riscos necessita de constante atenção (SOUZA; ESTEVÃO, 2019). Dessa forma, Pereira *et. al.* (2023) citam ser fundamental a incorporação de metodologias de gestão da inovação que contribuam significativamente para a condução dos processos. Nesse contexto, destaca-se a *Technology Readiness Level – TRL* -, uma metodologia desenvolvida pela *National Aeronautics and Space Administration – NASA* - na década de 1960, utilizada para avaliar o nível de maturidade tecnológica de projetos de inovação. A aplicação do TRL pode fornecer contribuições concretas e valiosas para todo o processo de inovação, garantindo a eficiência e o sucesso das iniciativas empreendidas (PEREIRA *et al.*, 2023).

A partir disso, o objetivo deste estudo reside em avaliar o nível de maturidade tecnológica de alternativas relacionadas a valorização de resíduos industriais do processo de fundição. O trabalho será conduzido por meio de um estudo de caso, revisão bibliográfica narrativa e pesquisa documental, onde será estruturada uma apresentação dos principais conceitos relacionados ao processo de fundição e a problemática dos resíduos gerados. Também serão apresentados os volumes dos resíduos gerados da empresa em estudo, bem como, suas classificações. A contar dessa situação, serão analisados diferentes métodos e tecnologias que possibilitam o tratamento, reutilização e reciclagem dos resíduos de fundição, bem como, o nível de maturidade tecnológica que os métodos e tecnologias se encontram. A pesquisa demonstra a necessidade premente de encontrar soluções sustentáveis para a gestão de resíduos do processo de fundição da indústria automotiva. Esse setor desempenha um papel estratégico na economia, e o aumento constante da produção de fundidos inevitavelmente resulta em um volume proporcional de resíduos. Ao abordar alternativas de valorização de resíduos, o trabalho não apenas contribui para a gestão sustentável desses subprodutos, como também oferece uma visão única sobre como as soluções podem ser adaptadas para atender às demandas e regulamentações específicas desse setor, evidenciando o caráter inovador e aplicado da pesquisa. Isso proporciona uma base valiosa para o enriquecimento do conhecimento técnico-

científico no campo da gestão de resíduos na indústria automotiva, com potenciais impactos positivos, tanto ambientais quanto econômicos.

Esta pesquisa está estruturada em: Introdução, Revisão de Literatura, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão e Conclusão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção serão abordados a gestão de resíduos industriais, o processo de fundição e os níveis de maturidade tecnológica. Esses temas são importantes pois têm implicações diretas na eficiência operacional, na responsabilidade ambiental e competitividade da empresa.

2.1 GESTÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

As atividades industriais são caracterizadas pelo consumo de energia e insumos para a transformação das matérias-primas em produtos, processo que, inevitavelmente, resulta na geração de resíduos sólidos ou rejeitos (SCHALCH *et al.*, 2019 *apud* MENDES, 2020). Segundo Mendes (2020), ao mesmo tempo que o setor industrial apresenta importância econômica, tem potencial para causar impactos ambientais negativos e, sendo assim, o gerenciamento adequado dos resíduos se torna uma ferramenta de relevância para a manutenção da qualidade do meio ambiente e para evitar danos à saúde pública.

Nesse contexto, a gestão de resíduos sólidos se tornou um assunto de grande importância para as empresas estabelecidas no Brasil, particularmente após a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabelece orientações para a adequada administração e gerenciamento desses resíduos no país (BARDERI, 2017).

A PNRS descreve o gerenciamento de resíduos sólidos como um conjunto de ações envolvendo etapas que abrangem desde a coleta dos resíduos até a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). A mesma legislação estabelece que o gerenciamento deve ser orientado para a priorização da prevenção da geração de resíduos e, em caso de inviabilidade, recomenda-se alternativas que contemplem os resíduos como recursos e reduzam ao máximo o encaminhamento para disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Para o direcionamento das ações de gerenciamento dos resíduos sólidos, é importante que seja identificada a classe do resíduo (PUGLIESI, 2010). Segundo a ABNT (2004) os resíduos podem ser classificados como Classe I, Classe II A e Classe II B.

Os resíduos Classe I são definidos como resíduos perigosos e são aqueles que a partir de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, possuem características que podem causar danos à saúde pública ou risco ao meio ambiente. As características que definem a periculosidade são inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (ABNT, 2004).

Os resíduos não perigosos são categorizados como Classe II, sendo subdivididos em Classe II A e Classe II B. A Classe II A abrange resíduos não inertes, que podem apresentar biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. A Classe II B engloba os resíduos inertes, que não se solubilizam em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, sem considerar aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004).

A gestão inadequada de resíduos reflete em modificações no meio ambiente, como geração de maus odores decorrentes da decomposição dos resíduos, poluição visual, da água, do solo e do ar (CAETANO, 2016). A poluição da água e do solo pode ocorrer por meio da infiltração do chorume nesses meios. A poluição do ar, por outro lado, resulta da emissão de partículas suspensas pelo vento ou devido às queimadas (CASTILHOS JR. *et al.*, 2006).

Dada a potencial influência na qualidade do ambiente e nos perigos para a saúde humana, é crucial que os resíduos sólidos tenham um gerenciamento efetivo, assegurando a escolha da melhor opção para seu destino e uma disposição final que seja ambientalmente responsável (CAETANO, 2016). Isso deve ser feito considerando a viabilidade econômica, tecnológica e ambiental do local em questão (BRASIL, 2010).

No Art. 9º, a PNRS estabelece uma ordem de prioridade como diretriz para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos, sendo: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição ambientalmente adequados dos resíduos (BRASIL, 2010). Essa sequência de medidas é estabelecida com o propósito de minimizar os impactos ao meio ambiente e à saúde pública (MESSAGE, 2019).

Inicialmente, a estratégia prioritária é evitar a geração de resíduos sólidos. Se houver necessidade real de consumir recursos materiais, é importante implementar

medidas que visem à redução da geração. Quando a redução não for viável, a próxima etapa é a reutilização (MENDES, 2020). A PNRS define a reutilização como o "processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química (...)" (BRASIL, 2010, p. 12). Isso implica em utilizar o resíduo para o mesmo propósito para o qual foi criado ou para finalidades diferentes.

Por outro lado, a reciclagem é delineada pela PNRS como o "processo de modificação das características físicas, físico-químicas ou biológicas dos resíduos sólidos, com o objetivo de os converter em insumos ou novos produtos (...)" (BRASIL, 2010, p. 11). Ao contrário da reutilização, a reciclagem implica em transformar os resíduos sólidos para possibilitar seu reuso.

Os resíduos que não podem ser reciclados devem ser direcionados para tratamento, que é definido como "uma sequência de ações com o propósito de diminuir a quantidade ou o potencial poluente dos resíduos sólidos, seja evitando o descarte inadequado no meio ambiente, seja convertendo-os em substâncias inertes ou biologicamente estáveis" (INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE, 2001, p. 119).

Segundo o Portal Resíduos Sólidos (2023), pode-se separar as formas de tratamento de resíduos em três grupos, conforme Quadro 1.

Tratamento	Descrição
Tratamento mecânico	São realizados processos físicos geralmente com o intuito de separar (usinas de triagem) ou alterar (reciclagem) o tamanho físico dos resíduos. Neste processo não ocorrem reações químicas entre os componentes como nos muitos casos do tratamento térmico.
Tratamento Bioquímico	Biodigestão: decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio nos chamados Biodigestores ou Centrais de Biogás. Compostagem: decomposição da matéria orgânica na presença de oxigênio em Usinas de Compostagem.
Tratamento Térmico	Secagem: retirada de umidade dos resíduos com uso de correntes de ar. Ocorre na presença do ar atmosférico e temperatura ambiente.

(Continua)

	<p>Pirólise: decomposição da matéria orgânica a altas temperaturas e na ausência total ou quase total de oxigênio. As temperaturas do processo podem variar de 200 a 900°C.</p> <p>Gaseificação: transformação de matéria orgânica em uma mistura combustível de gases (gás de síntese). Na maioria dos processos não ocorre uma oxidação total da matéria orgânica em temperaturas variando entre 800 e 1600°C.</p> <p>Incineração: oxidação total da matéria orgânica com auxílio de outros combustíveis a temperaturas variando entre 850 e 1300°C.</p>
--	---

QUADRO 1 – GRUPOS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS

FONTE: Adaptado de Portal Resíduos Sólidos (2023).

Por fim, quando todas as abordagens de gestão anteriormente mencionadas não são viáveis, a destinação adequada dos resíduos envolve o encaminhamento para a disposição final ambientalmente correta, conceituada pela PNRS como a "disposição ordenada de rejeitos em aterros, seguindo diretrizes operacionais específicas para prevenir quaisquer ameaças à saúde pública e à segurança, bem como minimizar os impactos ambientais adversos (...)" (BRASIL, 2010, p. 10).

A fim de evitar ao máximo o encaminhamento para disposição final ambientalmente adequada, recomenda-se a adoção da economia circular, que segundo Ellen Macarthur Foundation (2023), consiste no aproveitamento máximo do uso dos recursos, com intuito de gerar menor quantidade de rejeito possível. Para isso, aborda o planejamento de fluxos circulares (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2023), os quais podem ser aplicados para os resíduos sólidos, materiais com valor econômico e social agregados.

A abordagem circular possibilita a regeneração e recuperação de resíduos, permitindo sua reintegração em ciclos de produção subsequentes (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2023). Ainda segundo Ellen Macarthur Foundation (2023), a economia circular desempenha um papel fundamental na diminuição da necessidade de extrair novos recursos primários para serem usados em processos produtivos e na redução da geração de resíduos.

A lei estadual CONSEMA nº 178 de 5 de março de 2021, que “Estabelece as diretrizes e critérios para a utilização de resíduos classes I, IIA ou IIB como insumos na agricultura, silvicultura, em processos industriais ou construtivos, e adota outras providências” (SANTA CATARINA, 2021). A Lei contribui para o fortalecimento do desenvolvimento de alternativas para promover a economia circular dos resíduos industriais do processo de fundição.

A implementação de estratégias de gerenciamento eficazes, juntamente com a adoção da economia circular, pode não apenas reduzir os impactos negativos, mas também criar oportunidades para um desenvolvimento mais sustentável e responsável na indústria.

2.2 PROCESSO DE FUNDIÇÃO

O processo de fundição visa a produção de peças depositando ligas fundidas, compostas por metais ferrosos ou não ferrosos, em moldes com a forma desejada. Nesse processo, o material é solidificado por meio do resfriamento (ADEGAS, 2007).

As fundições podem ser categorizadas em duas classes distintas, dependendo do tipo de metal empregado. Elas são classificadas como fundições ferrosas quando o metal fundido é o ferro ou aço, enquanto são designadas como fundições não-ferrosas quando envolvem a fusão de outros metais, tais como alumínio, bronze e cobre (DILLON; ACQUA, 2000).

Segundo Alves (2012), os métodos de fundição mais amplamente reconhecidos incluem: moldagem em areia verde, areia silicato/CO₂, caixa à frio, *Pep Set*, cura à frio, moldagem em casca (Shell), caixa à quente, cera perdida (micro fusão) e molde permanente. Esses métodos podem ser empregados de forma isolada ou em combinação (ALVES, 2012). No Brasil, o processo que utiliza moldes de areia verde é o método mais comum para a fundição de metais ferrosos. Sua alta prevalência se deve à sua tecnologia simples e aos custos relativamente baixos associados (CASOTTI *et al.*, 2011).

As principais fases do processo de moldagem em areia verde envolvem as seguintes etapas: confecção do modelo da peça, elaboração do molde, criação do macho, fechamento do molde, fusão do material, vazamento, desmoldagem, corte de canais e massalotes, rebarbação e limpeza (CASOTTI *et al.*, 2011).

De acordo com a Associação Brasileira de Fundição (2023), em 2022 o setor de fundição produziu 2,97 milhões de toneladas de fundidos, entre ferro fundido (2,26 mil t), aço (289.588 t) e metais não ferrosos (425.521 t).

A distribuição regional da produção de fundidos em 2022 pode ser verificada na Tabela 1.

Região	2022 (t)	2021 (t)	2022/2021 (%)
Centro MG	613.755	601.075	2,1
Norte/NE	104.812	100.262	4,5
Rio de Janeiro	159.303	172.110	7,4
São Paulo	720.531	615.854	17,0
Sul	1.380.292	1.217.053	13,4
Total	2.978.693	2.706.354	10,1

TABELA 1 – COMPARAÇÃO INTERANUAL (2022/2021) DE PRODUÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIDOS POR REGIÃO DO PAÍS
FONTE: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO (2023)

O volume de produção alcançado no acumulado de 2022 (2,97 milhões t) superou em 10,1% o desempenho do setor comparado a 2021 (2,70 milhões t).

O processo de fundição é uma parte essencial da indústria, sua diversidade de métodos e materiais demonstra sua flexibilidade e adaptabilidade às necessidades da produção. Os dados recentes de produção no Brasil indicam um setor em crescimento, destacando seu papel fundamental na economia e na fabricação de produtos essenciais para diversas indústrias.

2.3 NÍVEIS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA

O Nível de Maturidade Tecnológica (NMT) pode ser concebido como uma abordagem metodológica que se presta à comparação de tecnologias associadas a uma aplicação específica (PEREIRA, 2021). Ainda segundo Pereira (2021), tanto entidades governamentais quanto organizações privadas de fomento podem utilizar esse mecanismo para respaldar projetos inovadores em estágios pré-mercado, visando a mitigação dos riscos relacionados à não obtenção da maturidade tecnológica desses projetos.

A ampla adoção dessa metodologia possibilita aos responsáveis pela tomada de decisões realizar comparações de desempenho, administrar riscos e coordenar

recursos financeiros, antecipando o momento adequado para introduzir uma tecnologia ou produto no mercado (PEREIRA, 2021). Essa abordagem é uma alternativa amplamente aceita por diversos órgãos e instituições, e tem sido cada vez mais adotada para avaliar o nível de maturidade do desenvolvimento tecnológico no país (VELHO *et al.*, 2018).

Conforme Dantas (2020), a metodologia mais reconhecida para medir o nível de maturidade tecnológica é a *Technology Readiness Level* (TRL), que pode ser uma ferramenta de grande utilidade para as incubadoras de empresas. O TRL pode ser definido como um método destinado a avaliar o estágio de desenvolvimento tecnológico de atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em um projeto específico. Essa abordagem teve sua origem na década de 1960 e foi desenvolvida pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) para avaliar suas tecnologias, estabelecendo critérios mínimos. Na década seguinte, nos anos 1970, o modelo TRL evoluiu e expandiu seu âmbito, passando a ser aplicado a diversas tecnologias, o que resultou em sua ampla adoção na área de P&D (ROCHA, 2016).

Os níveis na escala TRL variam de 1 a 9, refletindo o grau de maturidade da tecnologia em questão. O TRL 1 corresponde à fase de pesquisa básica, marcada pelo início da investigação científica, cujos resultados serão utilizados para futuros projetos de pesquisa e desenvolvimento, conforme a metodologia da NASA. Por outro lado, o TRL 9, o último nível da escala, é alcançado quando a tecnologia passou por testes e validações, estando pronta para ser comercializada imediatamente (QUINTELLA, 2017).

Conforme observado por Bergamini (2020), de uma perspectiva holística, a avaliação precisa e pronta da tecnologia desempenha um papel crucial na orientação das decisões de gestão, desempenhando também um papel integral na execução de projetos de desenvolvimento tecnológico. Os TRL's foram concebidos para fornecer uma métrica padronizada, que permite uma avaliação objetiva do nível de maturidade de uma nova tecnologia para os executivos, desenvolvedores, pesquisadores e outros interessados (PEREIRA, 2021).

Segundo Moresi *et al.* (2017), a escala de Nível de Maturidade Tecnológica (TRL) é uma das metodologias de avaliação de maturidade mais amplamente adotadas por organizações industriais em todo o mundo. No entanto, é importante reconhecer que ela não pode ser aplicada de maneira universal a todas as empresas

ou setores, uma vez que cada um possui suas particularidades. Portanto, para ser verdadeiramente eficaz, uma escala precisa ser adaptada às características únicas de diferentes empresas e setores, o que levou à ampla disseminação da TRL por meio de adaptações ao longo dos anos (MORESI *et al.*, 2017).

A TRL originalmente foi concebida para avaliar tecnologias em seu contexto tradicional, no entanto, devido à sua crescente popularidade, ela foi adaptada para uma variedade de usos dentro dos ecossistemas de inovação. Sob essa perspectiva, Evans e Johnson (2013) introduziram uma expansão do conceito de TRL, apresentando uma abordagem denominada Níveis de Prontidão para Inovação (IRL, na sigla em inglês), que oferece uma maneira de avaliar as capacidades de uma organização em relação a um modelo de negócios específico. Eles propõem que o IRL pode ser aplicado em várias áreas funcionais de uma organização, abrangendo aspectos como finanças, gestão de recursos humanos, operações e assim por diante. Essa abordagem pode ser facilmente adaptada para empresas emergentes, incluindo startups. As definições relacionadas a esses conceitos estão detalhadas no Quadro 2.

Nível	Resumos dos níveis de TRL
TRL 1 – Inventor ou equipe com um sonho	Nível mais baixo de prontidão onde a intenção é traduzir uma ideia de uma aplicação ou de transferência de tecnologia, em um negócio de risco.
TRL 2 – Estudos conceituais produzidos	Uma vez que as ideias básicas foram formuladas, elas são colocadas no papel para estudos e análises em relação às oportunidades de negócios.
TRL 3 – Evidência experimental de oportunidade de negócio	Inicia-se a pesquisa e o desenvolvimento ativo, incluindo estudos analíticos/laboratoriais para validar previsões sobre o mercado, a concorrência e a tecnologia
TRL 4 – Capacidade de trabalhar com programas de escopo limitado com equipes de projeto	Componentes tecnológicos básicos e de negócios são desenvolvidos para estabelecer as condições de integração. Está disponível um plano inicial de negócios
TRL 5 – Capacidade para suportar o desenvolvimento da engenharia de projeto e design (nenhum produto, nenhuma receita).	Os componentes tecnológicos básicos e de negócios estão integrados com elementos de suporte razoavelmente realistas. O plano de negócios tem credibilidade, mas ainda precisa ser validado considerando as características do produto.
TRL 6 – Capacidade de suportar desenvolvimento e o design com uma equipe de negócios orientada pelo mercado (produto sem receita)	Um protótipo representativo do sistema é testado em um ambiente relevante. A equipe de negócios ainda está incompleta e o empreendimento ainda não está pronto para a comercialização. Está

(Continua)

	disponível um plano completo de negócios, incluindo aspectos de mercado, operacional, tecnológico e financeiro.
TRL 7 – Capacidade de suportar produção limitada; Equipe de negócios completa e contratada (produto e receitas limitadas)	O negócio pode ser executado em uma escala limitada. A equipe completa está mobilizada.
TRL 8 – Capacidade de transição para plena produção e distribuição (produtos e receitas)	A tecnologia foi comprovada para operar e os riscos mitigados para ser capaz de suportar parcialmente o crescimento do mercado.
TRL 9 – Negócios totalmente articulados com a infraestrutura e pessoal adequados (crescente participação de mercado).	A oferta que incorpora a nova tecnologia tem sido utilizada em condições operacionais e o negócio está funcionando com participação crescente no mercado.

QUADRO 2 – NÍVEIS DE TRL

FONTE: PEREIRA (2021)

As métricas da escala TRL possibilitam o rastreamento do progresso tecnológico e, ao mesmo tempo, ajudam a identificar necessidades de investimento. Isso facilita a comunicação com organizações que oferecem suporte, financiamento e investimentos em inovação (FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS, 2019).

O Nível de Maturidade Tecnológica (NMT) desempenha um papel fundamental na avaliação e gestão de projetos de inovação e desenvolvimento tecnológico. Essa metodologia oferece uma estrutura sólida para a tomada de decisões, o gerenciamento de riscos e a alocação de recursos, contribuindo para o avanço da inovação e o sucesso de projetos tecnológicos em diversos setores e organizações.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo adota uma abordagem qualitativa que, segundo Gressler (2007), se destaca por ser um projeto de pesquisa cívico, participativo e colaborativo, onde o ambiente natural é diretamente observado como uma fonte primária de dados. Possui uma natureza de pesquisa básica, que, segundo Silva (2004, p. 20) “visa gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista.” Quanto aos objetivos, é definida como pesquisa exploratória, uma vez que têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias com o intuito de formular problemas mais precisos para estudos posteriores. Também são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar uma visão geral acerca de determinado fato (GIL, 2007).

O ambiente de estudo foi uma indústria automotiva da cidade de Joinville/SC a qual possui o processo de fundição, que em virtude de suas etapas, geram volumes significativos de resíduos. Por se tratar de um estudo em uma indústria automotiva, a pesquisa se enquadra como estudo de caso.

Para obtenção de dados, foi realizada revisão bibliográfica narrativa e contatos diretos. Segundo Marconi e Lakatos (2016) a pesquisa bibliográfica é um apanhado geral sobre os principais trabalhos já realizados, revestidos de importância, por serem capazes de fornecer dados atuais e relevantes relacionados com o tema. Em relação a revisão bibliográfica que tem por objetivo identificar as alternativas de valorização de resíduos e seus respectivos níveis de maturidade tecnológica, foi realizada pesquisa nas bases de dados: *Web of Science*, *Scopus*, Google Acadêmico, com a utilização das palavras-chave: gestão de resíduos indústrias, valorização de resíduos, nível de maturidade tecnológica, resíduos de fundição. Para a pesquisa em base de dados internacionais foram utilizadas as palavras chaves: *waste management*, *industrial foundry waste*, *technology readiness level*. A pesquisa ocorreu entre julho e setembro de 2023, levando em consideração os seis últimos anos de produção científica (2018 – 2023).

Os contatos diretos foram realizados com profissionais que puderam fornecer dados, ou sugerir possíveis fontes de informações úteis (MARCONI; LAKATOS, 2016). Dessa forma, utilizou-se a consulta em documentos que pertencem à indústria automotiva, sendo eles: fluxograma de processo produtivo, relatórios de classificação de resíduos conforme ABNT NBR 10004:2004 e relatórios de geração de resíduos. Tais documentos são considerados literaturas cinzentas e conforme Dudziak (2021) são informações produzidas por todos os níveis de governo, acadêmicos, negócios e indústria em formatos eletrônicos e impressos não controlados pela publicação comercial.

Por meio das informações obtidas da indústria automotiva, foram selecionados os dois resíduos que possuem maior geração. Na fase de apresentação de tecnologias de valorização de resíduos, foram selecionadas pesquisas encontradas nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus*, Google Acadêmico e propostas de valorização de resíduos que pertencem à indústria automotiva.

Posteriormente foi organizado um quadro relacionando às alternativas de valorização de resíduos e seus respectivos níveis de maturidade tecnológica (NMT) e

a análise da pesquisa se deu por interpretação, uma vez que, esse método visa a busca de significados abrangentes nas respostas. Ele estabelece conexões entre os resultados da pesquisa e o conhecimento previamente adquirido, com a finalidade de estruturar e categorizar os dados coletados, resultando em respostas e conclusões para a questão em foco (ROESCH *et al.*, 2015).

Para um melhor entendimento das etapas da pesquisa, elaborou-se um fluxograma com as principais etapas conforme Figura 1.

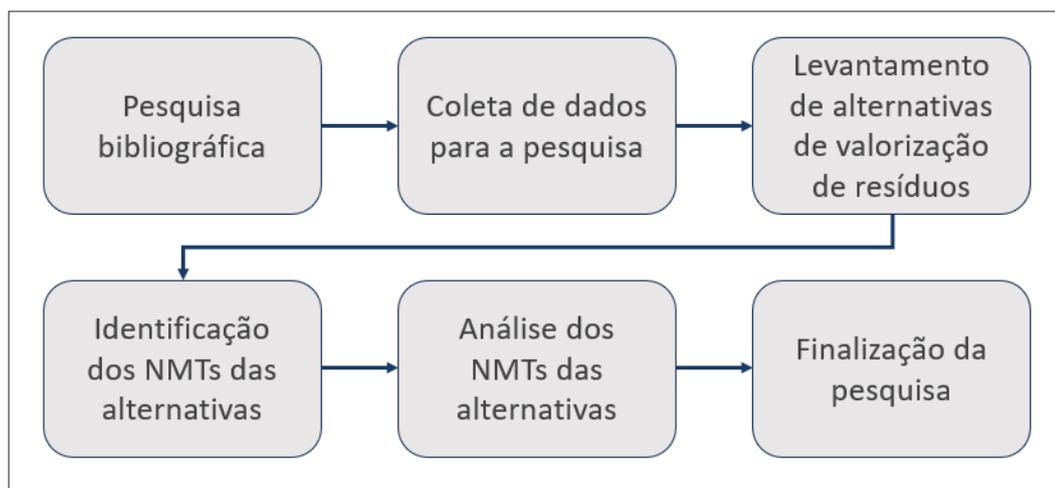


FIGURA 1: FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS PRINCIPAIS DA PRESENTE PESQUISA. FONTE: O Autor (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 EMPRESA DO ESTUDO DE CASO

A empresa utilizada para o estudo de caso está localizada em Joinville, Santa Catarina, e produz peças para o mercado de veículos comerciais pesados, máquinas agrícolas e equipamentos de construção por meio de quatro processos: fundição, usinagem, pintura e montagem. Segundo o analista de processos da empresa, o processo de fundição compreende as seguintes etapas: modelação, macharia, moldagem, fusão e acabamento. Na etapa de fusão é produzido o metal líquido por meio da inserção de sucatas metálicas em fornos de indução. O metal líquido fica na parte inferior do forno, enquanto as impurezas ficam na parte superior devido a diferença de densidade e, dessa forma, é gerado o resíduo de escória. O metal líquido é transferido para a panela vazadora que irá transportar o metal até o molde. As

painéis de vazamento utilizados no transporte do metal são revestidas internamente com uma massa refratária que tem a função de proteger a chapa metálica da panela para reduzir as perdas de calor. Após a vida útil dos revestimentos, é necessário realizar a troca da massa refratária, com isso, é gerado o resíduo de refratário.

O molde que recebe o metal líquido é produzido com uma mistura de areia, bentonita, pó de carvão aditivado e água. Após o metal líquido solidificar e adquirir o formato desejado da peça, ocorre a desmoldagem, onde uma parcela da areia retorna para o sistema e outra parte é descartada, sendo denominada como resíduo de areia de moldagem. Após a desmoldagem, a peça fundida é encaminhada para a etapa de acabamento, onde são gerados os resíduos de pó de ferro e pó de exaustão do acabamento.

4.2 RESÍDUOS DE FUNDIÇÃO

A partir do acesso aos relatórios de geração de resíduos do processo de fundição do ano de 2023, foi possível verificar que os resíduos com maior geração mensal são: areia de moldagem e escória. Com base em informações compartilhadas pelos profissionais da empresa, foi definido que o resíduo de refratário faria parte da pesquisa, pois a empresa possui interesse em estudar a valorização do resíduo. Os volumes gerados mensalmente estão descritos na Tabela 2.

Resíduo	Geração mensal (Toneladas/mês)
Areia de moldagem	2.200
Escória	400
Refratário	70

TABELA 2 – GERAÇÃO MENSAL DOS RESÍDUOS SELECIONADOS PARA A PESQUISA
FONTE: O Autor (2023)

Por meio da realização de ensaios de lixiviação e solubilização dos resíduos conforme a ABNT NBR 10004:2004, foi possível identificar que os resíduos são classificados como Classe II A – Não inerte. Essa classificação é devido a parâmetros que tiveram concentrações acima do permitido no ensaio de solubilização.

4.3 ANÁLISE DO NÍVEL DE MATURIDADE TECNOLÓGICA DAS ALTERNATIVAS DE VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS

A partir da pesquisa realizada nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus*, *Google Acadêmico* e propostas de valorização de resíduos da indústria da empresa do estudo de caso, foi possível identificar as alternativas de valorização dos resíduos e seus respectivos níveis de maturidade tecnológica (NMT) conforme descritos no Quadro 3.

Resíduo	Tecnologia	Referência	NMT
Areia de moldagem	Produção de compósitos poliméricos com areia de moldagem	Startup de valorização de resíduos	7
	Produção de materiais controlados de baixa resistência	AGGARWAL; GOYAL; KUMAR (2023)	3
	Produção de blocos cerâmicos	SOUZA (2021)	3
Escória	Produção de artefatos para construção civil à base de geopoliméricos com 50% de resíduo de escória em sua composição	Startup de valorização de resíduos	6
	Uso de escória de fundição de metais ferrosos como agregado fino para concreto	CARDOSO <i>et al.</i> (2018)	2
	Eletrofloculação aplicada no tratamento de efluente têxtil utilizando como eletrodos resíduo de indústria de fundição e sucata de ferro	DE MAMAN (2019)	3
Refratário	Produção de revestimento refratário	SANTOS (2023)	3

(Continua)

	com resíduo de refratário		
	Uso de agregado reciclado na produção de concreto refratário	LEAL (2020)	3
Areia de moldagem, escória e refratário	Transformação de resíduos sólidos contendo óxidos metálicos em um produto aplicado no processo de purificação de gás natural e biogás	Startup da área química	4
	Transformação de resíduos sólidos contendo óxidos metálicos em um produto aplicado no processo de fabricação de clínquer	Startup da área química	4

QUADRO 3 – LEVANTAMENTO DE ALTERNATIVAS DE VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS E OS NÍVEIS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA
 FONTE: O Autor (2023)

A metodologia escolhida para abordar essa situação foi o Technology Readiness Level (TRL), não apenas devido à sua ampla aceitação, mas principalmente pela sua versatilidade em se adequar a diferentes setores. A TRL é uma das ferramentas mais prevalentes para avaliar o grau de maturidade tecnológica, amplamente empregada por empresas em todo o mundo. A verdadeira relevância de uma escala de TRL para uma empresa ou indústria se manifesta quando ela é personalizada para se ajustar à realidade específica da instituição, atendendo precisamente às demandas do seu papel como agente de inovação (MORESI, 2017).

No nível TRL 1 não foram identificadas alternativas de valorização de resíduos. De acordo com Barbosa (2018), nessa fase da escala, estamos abordando unicamente uma concepção, que pode ter sido registrada de alguma maneira, mas carece do aprimoramento essencial para sua viabilidade no mercado. Ela retém predominantemente um caráter teórico e científico, embora possa ser destacada como

uma ideia com potencial econômico. Na prática, ainda não foram realizados testes empíricos para validar essa proposta

No TRL 2 foi identificada uma alternativa de valorização do resíduo de escória. Nessa fase, já existe um certo respaldo científico que sustenta a inovação desejada. É neste ponto que a ideia começa a ser formalizada, documentada, e as evidências conceituais começam a se materializar, conforme ressaltado por Barbosa (2018). Ao alcançar o segundo nível na escala de TRL, os projetos superam um contexto puramente teórico-científico, buscando uma aplicação prática que atenda às necessidades de potenciais clientes ou demandantes. Esse estágio marca o primeiro passo em direção à transição do âmbito estritamente científico, iniciando uma jornada em direção ao mercado para a solução inovadora. Além disso, abre a possibilidade de conduzir pesquisas iniciais para identificar potenciais interessados. Este é o momento de começar a desassociar a ideia do seu caráter exclusivamente científico e começar a considerá-la como algo passível de comercialização.

No nível TRL 3, foram identificadas cinco alternativas relacionadas aos três resíduos abordados na pesquisa. Conforme destacado por Evans e Johnson (2013), nesse estágio de desenvolvimento, torna-se possível realizar testes em componentes individuais de um futuro protótipo, embora de forma isolada. Reforçando essa ideia, Barbosa (2018) esclarece que os estudos analíticos são aplicados para aprimorar a tecnologia em um contexto específico, enquanto os testes laboratoriais são valiosos para conduzir testes físicos iniciais, a fim de validar as previsões derivadas dos estudos analíticos. Os níveis de TRL de 1 a 3 representam o estágio inicial da escala, assemelhando-se a uma fase de laboratório inicial que abrange desde a concepção até o início dos testes das diferentes partes da solução, contudo, ainda não alcançando o status de um protótipo plenamente funcional.

Na TRL 4, foram identificadas duas alternativas que abrangem os três resíduos, sendo uma proposta que tem como objetivo transformar os resíduos que contém óxidos metálicos em um produto aplicado no processo de purificação de gás natural e biogás e outra proposta de transformação dos resíduos em um produto aplicado na produção de clínquer. Nessa fase, as tecnologias, previamente testadas de maneira embrionária em partes, progredem para testes mais abrangentes, revelando, ainda que de maneira limitada, a inovação concebida anteriormente. Entretanto, é importante destacar que ainda não se trata de um protótipo plenamente

desenvolvido, conforme esclarecido por Evans e Johnson (2013). Esse estágio representa o primeiro nível de validação do produto/serviço a ser desenvolvido, levando em consideração o conceito idealizado nas fases anteriores, conforme explicado por Barbosa (2018).

No nível do TRL 5 não foram identificadas alternativas e Padilha (2020) diz que os TRLs 5 e 6 conceituam como etapas de quase operação. Nesse sentido foi identificada uma alternativa relacionada ao nível TRL 6, e, nessa fase, o protótipo já possui a capacidade de ser produzido de maneira integral, como um produto ou serviço inovador. Sob essa perspectiva, Barbosa (2018) argumenta que esse nível detém uma importância singular, uma vez que está intrinsecamente ligado à fidelidade ao protótipo que foi previamente concebido e planejado.

No nível TRL 7 foi identificada uma alternativa de valorização do resíduo de areia de moldagem. Segundo Pereira (2021), esse nível permite uma produção limitada, mas com uma equipe capaz de gerar receita para a empresa, mas ainda não de forma plena.

Em relação aos níveis 8 e 9, não foram identificadas alternativas. Isso pode ter ocorrido em virtude da necessidade de investimentos para que as alternativas pesquisadas nos níveis anteriores possam escalonar. Segundo Pereira (2021), o conjunto de TRL's que abrange a faixa de 4 a 7 é comumente denominado como a fase de quase operação, este é um momento caracterizado pela alta complexidade técnica e gerencial, com escassas oportunidades de investimento. Essa escassez é, em grande parte, atribuída às instabilidades associadas à transição da tecnologia do status puramente conceitual para a condição plenamente prática e lucrativa, quando a inovação tecnológica se converte em um produto ou serviço com aplicabilidade comercial.

Segundo a afirmação de Leitner (2013), é crucial associar qualquer avanço tecnológico a um nível de maturidade tecnológica (TRL) situado entre 1 e 9. A pesquisa universitária, em sua maioria, está relacionada aos níveis de TRL 2, 3 e 4, podendo, em ocasiões relativamente infrequentes, avançar até o TRL 5. No entanto, as empresas raramente demonstram interesse em iniciar projetos com TRLs abaixo de 7 ou 8. Em situações excepcionais, pode haver departamentos de pesquisa e inovação operando no TRL 6. Para Leitner (2013) a razão para isso é simples: a relação entre risco e recompensa não se mostra favorável para as empresas. Apesar

do potencial intrínseco de muitas ideias acadêmicas em estágios de TRL mais baixos, obstáculos práticos frequentemente impedem sua aplicação eficaz. Por exemplo, o prazo para operacionalizar a alternativa e começar a resultar em ganhos para a empresa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A valorização de resíduos industriais é uma área crucial na gestão sustentável de recursos e na mitigação dos impactos ambientais associados. Este estudo teve como objetivo explorar as alternativas de valorização de resíduos e sua maturidade tecnológica.

O estudo identificou dez alternativas de valorização de resíduos em que os níveis de maturidade tecnológica estavam entre 2 e 7, demonstrando que a evolução gradual de maturidade tecnológica permite que os pesquisadores e empreendedores aprendam com os desafios encontrados nos diferentes níveis. Neste levantamento, não foram identificadas alternativas nos níveis 8 ou 9, isso pode ter ocorrido pois esses níveis requerem investimentos significativos em pesquisa, desenvolvimento e implementação e muitas empresas e instituições podem não estar dispostas a aportar recursos financeiros. Também, muitas alternativas podem ser viáveis em pequenas escalas, mas enfrentam desafios quando se trata de escalabilidade para atender a grandes demandas, como por exemplo, o alto volume de resíduos gerados nos processos de fundição.

A necessidade de investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento para avançar nas alternativas de valorização de resíduos foi claramente confirmada pelos resultados. Além disso, as barreiras financeiras e de escalabilidade identificadas apontam para a complexidade da implementação dessas soluções.

Ao abordar as limitações da pesquisa, foi verificada a falta de análise detalhada das condições econômicas e a ausência de alternativas nos níveis mais avançados de maturidade tecnológica. Essas limitações destacam a necessidade de pesquisas futuras mais abrangentes e aprofundadas nessa área.

As implicações deste estudo são significativas tanto para a prática quanto para a teoria, fornecendo insights importantes para orientar investimentos e desenvolvimento de soluções de valorização de resíduos industriais. O estudo oferece

uma base sólida para futuros investimentos e pesquisas, destacando a importância de superar desafios tecnológicos e financeiros para promover a sustentabilidade ambiental e econômica.

Em última análise, diante dos desafios ambientais e econômicos crescentes relacionados à gestão de resíduos industriais, é fundamental que a comunidade acadêmica e empresarial se una para impulsionar a inovação e implementação eficaz de soluções de valorização de resíduos. A colaboração e o compromisso são essenciais para alcançar uma gestão de resíduos mais sustentável e resiliente no futuro.

REFERÊNCIAS

ABIFA - Associação Brasileira da Indústria de Fundição. Revista Fundição & Matérias Primas. Disponível em: <http://www.abifa.org.br/revista57/>. Acesso em: 17 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004: Resíduos sólidos–Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ADEGAS, R. G. **Perfil ambiental dos processos de fundição ferrosa que utilizam areias no estado do Rio Grande do Sul**. 120 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2007. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/11199#>. Acesso em: 16 set. 2023.

AGGARWAL, J.; GOYAL, S.; KUMAR, M. Sustainable utilization of industrial by-products spent foundry sand and cement kiln dust in controlled low strength materials (CLSM). **Construction and Building Materials**, v. 404, p. 133315, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823030325>. Acesso em 26 out. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133315>

ALVES, B. S. Q. **Estudo da viabilidade ambiental da reutilização das areias descartadas de fundição**. 239 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/100741>. Acesso em 20 set. 2023.

BARBOSA, C. E. **Spin-offs acadêmicas de biotecnologia: análise da maturidade tecnológica através da escala Technology Readiness Levels**. 133 f. Dissertação (Programa Pós-Graduação em Sociobiodiversidade e Tecnologias sustentáveis), Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção (CE), 2018. Disponível em:

<https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/handle/123456789/2146>. Acesso em 08 out. 2023.

BARDERI, M.T. **Aplicação dos princípios da economia circular em numa indústria de veículos comerciais**. 138 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas), Centro Universitário FEI, São Paulo (SP), 2017. Disponível em: <https://repositorio.fei.edu.br/items/61142237-386b-482c-9826-4b6576cddd7c>. Acesso em 19 set. 2023.

BERGAMINI, R. L. Avaliação do Nível de Maturidade de Tecnologia (TRL) nas Instituições de Ciência e Tecnologia (TICs) com o modelo adaptado do AFRL - Laboratório de Pesquisa da Força Aérea. **Revista de Administração de Roraima (RARR)**, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, v. 10, p. 1 – 28, 2020. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/adminrr/>. Acesso em 14 set. 2023. DOI: 10.18227/2237-8057rarr.v10i0.5738

BONATO, S. V.; ALMEIDA, M. L. PEREIRA JUNIOR, E. F. Z. Um estudo de alternativas para reaproveitamento da areia descartada no processo de fundição. In: XVII Congresso Virtual de Administração – CONVIBRA, 17. Online. **Anais eletrônicos**, 2020. p. 1-19.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.

BOŻYM, M. Assessment of leaching of heavy metals from landfilled foundry waste during exploitation of the heaps. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 28, n. 6, p. 4117-4126, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.15244/pjoes/99240>. Acesso em 27 jul. 2023.

BOŻYM, M. Assessment of phytotoxicity of leachates from landfilled waste and dust from foundry. **Ecotoxicology**, v. 29, n. 4, p. 429-443, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02197-1>. Acesso em 24 jul. 2023.

CAETANO, J. A. **Reaproveitamento do resíduo Terra da Shredder através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland para aplicação na construção civil**. 2016. 102 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Carlos (SP). Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-24032017-104055/en.php>. Acesso em 23 ago. 2023.

CARDOSO, C. et al. Using foundry slag of ferrous metals as fine aggregate for concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, Portugal v. 138, p. 130-141, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.020>. Acesso em 09 nov. 2023.

CASOTTI, B. P. et al. **Indústria de fundição: situação atual e perspectivas**. BNDES Setorial, n. 33, p. 121–162, mar. 2011. Relatório técnico.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. de, et al. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Fundação de Estudos e Projetos (FINEP), 2006.

SANTA CATARINA. Resolução nº 178, de 05 de março de 2021. Altera a Resolução CONSEMA nº 109, de 4 de agosto de 2017, que "Estabelece as diretrizes e critérios para a utilização de resíduos classes I, IIA ou IIB como insumos na agricultura, silvicultura, em processos industriais ou construtivos, e adota outras providências. Legislação do estado de Santa Catarina, 24 fev. 2021. Disponível em: <https://www.sde.sc.gov.br/index.php/biblioteca/consema/legislacao/resolucoes/2021-1/2159-resolucao-consema-n-178-2021-1/file>. Acesso em 28 set. 2023.

DANTAS, F. C. **OPTIMUS: metodologia de gestão da inovação para instituições científicas e tecnológicas públicas**. 2020. 92 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação) - Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/28757>. Acesso em 23 set. 2023.

DE MAMAN, R. **Eletrofloculação aplicada no tratamento de efluente têxtil utilizando como eletrodos resíduo de indústria de fundição e sucata de ferro**. 2019. 65 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental), Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim (RS). Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/4005>. Acesso em: 19 out. 2023.

DELGADO, J. Síntese de materiais adsorventes a partir do resíduo de fundição industrial. 2021. 60 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25364>. Acesso em: 13 jul. 2023.

DILLON, P. S.; AQUA, E. N. **Chelsea center for recycling and economic development**. Technical Report 20. Univ. of Massachusetts, 2000.

DUDZIAK, E. O que é literatura cinzenta? AGUIA Blog, 16 ago. 2021. Disponível em: <https://www.aguia.usp.br/noticias/o-que-e-literatura-cinzenta/> Acesso em: 30 ago. 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. O que é economia circular?. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/pt/temas/economia-circular-introducao/visao-geral>. Acesso em 24 set. 2023.

EVANS, J. D.; JOHNSON, R. O. Tools for managing early-stage business model innovation. **Research-Technology Management**, v. 56, n. 5, p. 52-56, 2013. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.5437/08956308X5605007>. Acesso em 04 out. 2023.

FINEP – FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS. A travessia do vale da morte. 2019. Disponível em:

<http://www.finep.gov.br/noticias/todas-noticias/5995-a-travessia-do-vale-da-morte>. Acesso em 24 set. 2023

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GRESSLER, L. A. **Introdução à pesquisa: projetos e relatórios**. 3. ed. rev. atual. São Paulo: Loyola, 2007.

IBAM - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**, 2001. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>. Acesso em 21 set. 2023.

LEAL, J. F. C. **Avaliação dos efeitos da adição de agregados reciclados de Al₂O₃-SiC-C e Al₂O₃-ZrO₂-C em concretos refratários**. 2020. 123 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/51382>. Acesso em 18 out. 2023.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 7aed. São Paulo: Atlas, 2016.

MENDES, I. **Diagnóstico do gerenciamento de resíduos industriais e perspectivas de aplicação da economia circular: um estudo de caso em São Carlos – SP**. 2020. 132 f. Disertação (Programa de Pós Graduação em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-02072021-112209/pt-br.php>. Acesso em 29 ago. 2023.

MORESI, E. A. D. et al. **Análise de níveis de prontidão: uma proposta para empresas nascentes**. Atas: Investigação Qualitativa em Engenharia e Tecnologia, 2017. Disponível em: <https://proceedings.ciaiq.org/index.php/ciaiq2017/article/view/1127>. Acesso em: 21 nov. 2023.

PADILHA, L. **Você já ouviu falar em TRL? Conheça aqui seu significado**. Defesa Aérea & Naval, 2020. Disponível em: <https://www.defesaaereanaval.com.br/ciencia-e-tecnologia/voce-ja-ouviu-falar-em-trl-conheca-aqui-seu-significado>. Acesso em: 26 out. 2023.

PEREIRA, Y. B. et al. Prospecção do estado da arte de pesquisas científicas sobre nível de maturidade tecnológica. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 1, p. e1812139230-e1812139230, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i1.39230>. Acesso em 08 ago. 2023.

PEREIRA, Y. B. **Identificação e análise do nível de maturidade tecnológica dos projetos de empresas incubadas no estado do Rio Grande do Norte**. 2021. 120 f. Dissertação (Mestrado em Propriedade Intelectual e Transferência de tecnologia para a Inovação), Universidade Federal Rural do Semi Árido, Mossoró (RN). Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/2ba8121f-adfb-4e55-b798-4064c693bbaa>. Acesso em: 21 ago. 2023.

PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS. Tratamento de resíduos sólidos. Disponível em: <https://portalresiduossolidos.com/tratamento-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 24 set. 2023

PUGLIESI, É. Estudo da evolução da composição dos resíduos de serviços de saúde (RSS) e dos procedimentos adotados para o seu gerenciamento integrado, no Hospital Irmandade Santa Casa de Misericórdia de São Carlos-SP. 2010. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-18112011-160242/en.php>. Acesso em 13 ago. 2023.

QUINTELLA, M.C. A revista Cadernos de Prospecção e os níveis de maturidade de tecnologias (TRL). **Cad. Prospec.**, Salvador, v. 10, n. 1-2, p.1, jan./mar. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/21864>. Acesso em 17 set. 2023.

ROCHA, D. **Uma adaptação da Norma NBR ISO 16290: 2015 aplicada em projetos do setor Aeroespacial**. 2016. 120f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Espaciais, Ensaio e Lançamentos), Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=4644459. Acesso em 23 ago. 2023.

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.

SANTOS, M. L. S. Resíduos de refratários sílico-aluminosos como matéria prima alternativa para a fabricação de massa hidráulica de pega hidráulica. 2023. Tese (Doutorado Em Ciências e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2023. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=13144430. Acesso em 27 jul. 2023.

MESSAGE, L.B. **Diagnóstico e avaliação do gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde: estudo comparativo entre hospitais do município de São Carlos-SP**. 2019. 258 f. Dissertação (Mestrado em Ciência: Engenharia Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-24052019-090405/en.php>. Acesso em: 11 set. 2023.

SILVA, M.A.F. **Método científico**. Curitiba: IBPEX, 2004. p. 15-26.

SOUZA, A. F. **Reaproveitamento da areia descartada de fundição na produção de blocos cerâmicos**. 2021. 93 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em

Ciências e Tecnologia de Materiais), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/bff8a8e1-bb92-4a7b-a83b-4b3c41a00645/content>. Acesso em: 25 out. 2023.

SOUZA, S. M.; ESTEVÃO, B. V. Avaliação do Gerenciamento de Riscos para Desenvolvimento de Novos Produtos e Tecnologia: Revisão Integrativa De Literatura. In: **International Symposium on Innovation-Senai Cimatec**, Bahia. 2019. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/engineeringproceedings/siintec2019/13.pdf>. Acesso em 20 jul. 2023.

TEIXEIRA, A. S. N. M.; SOARES, R. A.L.; TEIXEIRA, P. R. S. Estudo e Avaliação do Uso e Escória Granulada de Fundição na Produção de Cerâmicas Estruturais. **Cerâmica Industrial**, v. 23, n. 2, p. 36-40, 2018. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/doi/10.4322/cerind.2018.014>. Acesso em 23 jul. 2023. <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2018.014>

VELHO, S. R. K. et al. Nível de Maturidade Tecnológica: uma sistemática para ordenar tecnologias. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 22, n. 45, p. 119-140, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330170870_Nivel_de_Maturidade_Tecnologica_uma_sistemática_para_ordenar_tecnologias. Acesso em 21 set. 2023.

XIANG, R. et al. The potential usage of waste foundry sand from investment casting in refractory industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 1322-1327, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618336837>. Acesso em 19 jul. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.280>