

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UM
ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA CERÂMICA EM UM
MUNICÍPIO DE MATO GROSSO**

Gislaine Cristina de Brito Paulikevis

Dissertação de Mestrado

Rondonópolis-MT: Novembro / 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

**DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UM
ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA CERÂMICA EM UM
MUNICÍPIO DE MATO GROSSO**

Gislaine Cristina de Brito Paulikevis

Orientador: Dra Maria da Conceição Trindade Bezerra e Oliveira

Dissertação de Mestrado

Rondonópolis-MT: Novembro / 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

**DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UM
ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA CERÂMICA EM UM
MUNICÍPIO DE MATO GROSSO**

GISLÂINE CRISTINA DE BRITO PAULIKEVIS

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Gestão e Tecnologia Ambiental, área de concentração Gestão e Tecnologias Ambientais, opção Acadêmica.

Aprovado por:

Maria da Conceição Trindade Bezerra e Oliveira, Doutora (Iowa State University, IASTATE, Estados Unidos)
(Orientador)

Domingos Sávio Barbosa, Doutor (Universidade de São Paulo, USP, Brasil)
(Examinador Interno)

Niédja Marizze Cezar Alves, Doutra (Universidade Federal de Campina Grande, UFPE, Brasil)
(Examinador Externo)

Rondonópolis-MT, 09 de novembro de 2023

Ficha catalográfica

Paulikevis, Gislaine Cristina de Brito

Diagnóstico da produção de resíduos sólidos: Um estudo de caso em uma indústria cerâmica em um município de Mato Grosso, 00 p., 00 mm, (UFR, Mestre, Gestão e Tecnologia Ambiental, 2023).

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Mato Grosso – Campus de Rondonópolis.

1. Meio Ambiente

2. Política Nacional de Resíduos Sólidos

3. Resíduos Sólidos

4. Indústria Cerâmica

I. UFR

II. Título (série)

É concedida à Universidade Federal de Rondonópolis para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Gislaine Cristina de Brito Paulikevis

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me permitir ingressar no programa e me sustentar em todos momentos.

Agradeço imensamente a minha família: esposo, filhos e pais pelo apoio e compreensão.

Minha gratidão a minha orientadora, professora Dra. Maria da Conceição, por toda a sua paciência, dedicação e ensinamentos. A sua atenção e acolhimento com certeza foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Agradeço a todos os mestres que estiveram comigo nesta jornada compartilhando seus conhecimentos.

E aos colegas sem exceção, em especial a Fernanda Galdino, que também contribuíram com a minha evolução, pelo apoio dispensado sempre que precisei, muito obrigada!

RESUMO

O aumento populacional e a industrialização no Brasil resultaram em maior geração de resíduos sólidos, exigindo estratégias eficientes de gestão. A falta de tratamento adequado desses resíduos causa impactos na saúde e no meio ambiente, tornando a reciclagem e a reutilização essenciais para mitigar esses efeitos. Para lidar com esse desafio, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, que orienta a gestão integrada e sustentável dos resíduos, envolvendo o setor público, privado, sociedade civil, cooperativas e associações. No caso da indústria de artefatos cerâmicos, leis como o Código Florestal e a PNRS regulam a exploração sustentável dos recursos naturais e a preservação ambiental, fornecendo um guia sistêmico para essas atividades. Pesquisar nesta área é relevante dada a importância das indústrias cerâmicas no sistema socioeconômico com uma contribuição significativa na geração de emprego e renda. O estudo constituiu-se de visitas *in loco* para conhecer o processo produtivo da indústria cerâmica, bem como, fazer o levantamento dos resíduos sólidos decorrentes de sua produção. A partir da identificação dos resíduos sólidos produzidos visualizou-se os aspectos ambientais envolvidos e seus possíveis impactos no meio ambiente. Através do método simplificado de uma ACV pode-se estimar a proporção do impacto ambiental do empreendimento que foram confirmados pela resolução CONEMA 04/2006.

Palavras-chave: resíduos sólidos; meio ambiente; indústria.

ABSTRACT

The growth in population and industrialisation in Brazil has led to an increase in solid waste generation, necessitating efficient management strategies. Improper treatment of this waste has adverse effects on health and the environment, making recycling and reuse crucial to mitigate these impacts. To address this challenge, the National Policy on Solid Waste (PNRS) was implemented in 2010, which guides integrated and sustainable waste management involving the public, private, civil society, cooperatives, and associations. In the case of the ceramic artifacts industry, laws such as the Forest Code and PNRS regulate the sustainable exploitation of natural resources and environmental preservation, providing a systemic guide for these activities. This study involved on-site visits to understand the ceramic production process and to assess the solid waste generated as a result of production. Research in this area is important given the significant contribution of the ceramic industry to the socio-economic system, notably generating employment and income. This study involved on-site visits to understand the ceramic production process and to assess the solid waste generated as a result of production. The identification of the solid waste produced allowed for the visualization of the environmental aspects involved and their potential impact on the environment. Using simplified Life Cycle Assessment (LCA) methodology, the environmental impact proportion of the project can be estimated in accordance with CONEMA Resolution 04/2006.

Keywords: solid waste, environment, industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquemática do processo de produção.....	19
Figura 2 - Classificação dos resíduos sólidos.....	20
Figura 3 - Fluxograma das etapas do gerenciamento dos resíduos sólidos desenvolvida na cerâmica.....	21
Figura 4 - Emissões gasosas advindas da indústria da cerâmica.....	22
Figura 5 - Substâncias que são emitidas durante a moagem.	23
Figura 6 - Substâncias que são emitidas durante a secagem.	23
Figura 7 - Substâncias que são emitidas durante a queima	23
Figura 8 - Estágios do ciclo de vida de um produto	27
Figura 9 Estrutura da ACV	28
Figura 10 Quadro 5 – Produção.....	34
Figura 11 Aspectos e Impactos Ambientais	35
Figura 12 Matriz ERPA.....	40
Figura 13 Identificação das preocupações ambientais	41
Figura 14 - Resultado da avaliação das preocupações ambientais	41
Figura 15 - Potencial Poluidor/ Degradador.....	42
Figura - 16 Ar	43
Figura - 17 Água.....	43
Figura 18 Solo e/ou Subsolo.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	RESÍDUOS SÓLIDOS	12
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS - LEGISLAÇÃO VIGENTE	12
2.2	TECNOLOGIAS PARA O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	13
2.3	INDÚSTRIA DE PRODUTOS CERÂMICOS	17
2.4	CLASSIFICAÇÃO E GESTÃO DOS RESÍDUIS CERÂMICOS.....	19
3	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	25
3.1	ESTRUTURA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	27
4	METODOLOGIA	30
5	RESULTADOS	35
6	CONCLUSÕES	44

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população e nível de industrialização há um aumento de consumo de produtos os quais, em geral, possuem vários materiais em sua composição, gerando mais resíduos sólidos. No entanto, o crescimento do volume de resíduos sólidos coletado no Brasil deve ser enfrentado com estratégias adequadas de destinação final, compreendendo um sistema de gestão de resíduos sólidos locais eficiente e sustentável, visando não ocasionar danos para a população e para o meio ambiente (DIAS *et al.*, 2018). Os resíduos sólidos quando não tratados e dispostos adequadamente causam impactos negativos para a saúde pública, a gestão dos resíduos sólidos constitui-se em um problema emergente da sociedade moderna (CERVANTES *et al.*, 2021)

A Constituição Federal do Brasil preconiza que o gerenciamento do manejo de resíduos sólidos é de competência do poder público local, ainda que possa ser exercido por empresas privadas por meio de concessão pública (DIAS *et al.*, 2018). Em 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos sob o nº12.305/2010, que definiu as diretrizes, objetivos e instrumentos concernentes a gestão de resíduos sólidos tanto para o setor público quanto para o privado, de modo que haja uma integração e uma gestão ambiental adequada dos resíduos.

De acordo com a Lei 12.305/2010, o tratamento de resíduos sólidos possui a quinta prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos que deverá ser aplicada no Brasil e no que diz respeito às formas de tratamento dos resíduos sólidos urbanos, elas podem ser separadas em três grupos: Tratamento Mecânico, Tratamento Bioquímico e Tratamento Térmico (PINTO, 2020). Visando o cumprimento da supracitada lei, pode-se destacar que os tratamentos dos resíduos sólidos são essenciais, além de serem um conjunto de métodos e operações que fazem uso de tecnologias de forma apropriada que são aplicáveis em face dos resíduos que vão desde a sua produção até a sua destinação final. Visando a mitigação do impacto negativo em face da saúde humana e do meio ambiente e objetivando transformá-los em geração de renda, como exemplo a realização da produção de matéria prima secundária (DA SILVA *et al.*, 2020).

Considerando o cenário de expansão urbana ao longo do tempo, as indústrias de cerâmica vermelha cresceram, e têm grande importância na participação no PIB – Produto Interno Bruto conforme apresenta Inocente *et al.* (2018). A indústria de cerâmica vermelha representa 5% do PIB nacional, sendo os produtos cerâmicos os mais usados na construção civil. Portanto, a indústria cerâmica é uma atividade imprescindível e à medida que há um

crescimento populacional, esta também tende a crescer, o qual neste processo surgirão possíveis problemas ambientais provenientes da geração de resíduos sólidos.

A operação de uma indústria de artefatos cerâmicos compreende uma série de atividades que interferem no meio ambiente. Os processos próprios dessa atividade atuam sob a direção de um conjunto de leis que orientam quanto à exploração e ao uso dos recursos naturais, bem como a preservação do meio ambiente de modo sistêmico. Dentre essas leis, tem-se o Código Florestal (BRASIL, 2012), a resolução CONAMA nº 01 de 1986 e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Estes aspectos legais ditam parâmetros e normas para a operação responsável das indústrias cerâmicas, visando a diminuição dos danos ambientais. O Código Florestal regula a exploração de áreas florestais e a preservação do recurso hídrico, já a resolução CONAMA define critérios para o licenciamento ambiental. Por sua vez, a PNRS, aborda aspectos quanto ao descarte correto dos resíduos sólidos gerados pelas atividades industriais, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais da produção de artefatos cerâmicos.

Conseqüentemente, este tipo de empreendimento está sempre em evidência devido ao impacto ambiental proveniente das principais matérias-primas empregadas, nomeadamente lenha e argila. Esses elementos, por sua vez, têm sido associados ao avanço do desmatamento, por exemplo. Não obstante, a extração da matéria-prima da natureza, também emergem os impactos ambientais decorrentes dos resíduos sólidos gerados ao longo do processo produtivo, como as cinzas geradas no processo de queima.

Neste contexto, destaca-se a necessidade de intensificar os estudos nesta área dada a importância das indústrias de artefatos cerâmicos no sistema socioeconômico com uma contribuição significativa na geração de emprego e renda. Além disso, é importante considerar que o estudo está em sintonia com os ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU – Organização das Nações Unidas para a agenda 2030, no que diz respeito ao fomento de uma estrutura de qualidade, confiável e sustentável, contribuindo para o aumento da participação na geração de emprego e do PIB das pequenas e médias empresas.

Diante do contexto apresentado, o presente estudo tem como objetivo a condução de um estudo de caso mediante o diagnóstico dos resíduos sólidos gerados e posteriormente estimar os impactos ambientais por meio de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) simplificada, em uma indústria cerâmica localizada no município de Rondonópolis.

2 RESÍDUOS SÓLIDOS

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS - LEGISLAÇÃO VIGENTE

A geração de resíduos tange um processo que ocorre desde os primórdios da humanidade, mas em menor escala. Neste contexto, com a intenção de proteger os recursos naturais e a conservação do planeta, as autoridades brasileiras criaram normas e legislações, dentre elas destacam-se: Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981 com objetivo de melhorar e recuperar o meio ambiente, a Resolução CONAMA nº 01 de 1986, o Código Florestal (BRASIL,2012) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos sob o nº 12.305/2010, cada uma delas com suas especificidades, mas que convergem para o mesmo objetivo de preservação do ecossistema. Portanto, toda indústria, independente do segmento, deverá se atentar à legislação vigente para evitar sanções e produzir de forma mais sustentável e eficaz.

No decorrer do lapso temporal da história, as primeiras diretrizes para o gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos no país ocorreram no ano de 1992, com a ABNT/NBR 8.419 de 1992 que dispõe sobre aspectos que envolvem o manejo, a coleta, o transporte e a destinação final dos resíduos. Estabelece critérios para classificação desses resíduos em urbanos, industriais, da saúde e outros. Desta forma, desempenha um importante papel em relação à regulamentação e a definição de critérios para o gerenciamento correto dos resíduos sólidos.

O crescimento das cidades, associado com o aumento do padrão de consumo, gerou uma elevação constante da geração de todo tipo de resíduo. Dessa forma, a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS sob a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, assegura acerca do tratamento de resíduos sólidos urbanos que:

Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

§ 1º Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental (BRASIL, 2010, np).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, apresenta em seu inciso primeiro a que público ela se destina:

§ 1º Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos

sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010a).

O Art. 3º, o inciso VII da supracitada lei ressalta acerca da destinação adequada dos resíduos:

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010a).

O Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos é um processo complexo que envolve múltiplos critérios ambientais e socioeconômicos, ou seja, diversas variáveis (ambientais, sociais e econômicas). Desta forma, os tomadores de decisão procuram estruturas de apoio à decisão que possam orientar e definir alternativas, identificar os critérios relevantes e prioridades para encontrar soluções adequadas.

Portanto, uma gestão de resíduos sólidos urbanos precisa ser abrangente, atendendo as diversas variáveis que estão de alguma forma interconectadas. Assim, a gestão deve ser vista como integrada, e com isso o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos deve ser integrativo. O conceito de gestão integrada de resíduos combina os fluxos de resíduos com a coleta de lixo, os métodos de tratamento e disposição final.

De acordo com a Lei 12.305/2010 o tratamento de resíduos sólidos é concernente à quinta prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos que deve ser aplicada no Brasil e no tocante às formas de tratamento dos resíduos sólidos urbanos. As supracitadas são separadas em três grupos: Tratamento Mecânico, Tratamento Bioquímico e Tratamento Térmico (Pinto, 2020).

2.2 TECNOLOGIAS PARA O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A compostagem é uma atividade que tem como benefício a redução dos impactos ambientais em face da gestão de resíduos, visto que é uma biotecnologia que faz a transformação dos resíduos orgânicos em um importante benefício ambiental. Além das vantagens, pode-se destacar que a mesma pode apresentar impactos negativos com a ausência de critérios em sua operação, onde pode ocorrer a exalação de odores, produção de lixiviados,

formação de chorume, e ainda surgimento de moscas e larvas, sendo crucial observar a ocorrência desses parâmetros indesejáveis (Santiago, 2021).

O processo ocorre por meio da decomposição biológica do material, através da ação de bactérias, fungos, actinomicetose no âmbito aeróbico, ocasionando no final do processo a estabilização da matéria orgânica e da produção de húmus. Pode-se afirmar que ocorre a decomposição da matéria orgânica de forma ecológica, gerando um composto que pode ser usado como adubo ou fertilizante. Nesse processo, há a ocorrência de alterações físicas, químicas e biológicas, e com isso o composto produzido ao final do processo traz favorecimentos para a qualidade do solo, pelo fato de haver teores de macro e de micronutrientes, corroborando para o aumento da atividade da microbiota que se encontra no solo (PIMENTEL *et al.*, 2020).

No processo de compostagem os parâmetros físico-químicos devem ser controlados. Parâmetros como temperatura, aeração, umidade, pH, relação C/N (carbono/ nitrogênio), tamanho das partículas, tamanho da pilha e microrganismos, para que dessa forma os microrganismos possam encontrar as condições ideais para que se desenvolvam. O processo de compostagem pode ocorrer em larga escala ou escala industrial, ou em pequenas escalas (Pimentel, *et al.* 2020)

No que diz respeito aos métodos de realização da compostagem, pode-se citar dois que são os métodos naturais e acelerados, onde o método natural tem duração de 120 (cento e vinte) dias. Neste processo, o resíduo orgânico, juntamente da poda vegetal, é misturado e colocado em um pátio através de leiras, onde deve permanecer, sendo revirado apenas para que haja a adequada aeração (MORAIS *et al.* 2022).

No que tange o método acelerado, este possui menor tempo de duração e com isso a análise do composto é por meio do processo Kneer, em que o referido processo se inicia quando há o carregamento de dois silos, onde um possui resíduo vegetal que foi triturado, e outro possui resíduo orgânico que será degradado. Neste processo, a dosagem dos materiais ocorre através das roscas transportadoras, com as proporções devidamente definidas através de um balanço de massa prévio. Posteriormente à dosagem, os materiais são colocados em um misturador para que sejam homogeneizados e tenham um maior contato entre si. Através de esteiras, o material é transportado direto para um reator biológico para finalização do processo, onde, por fim, o material fica por cerca de 14 (quatorze) dias no reator e mais 14 dias no pátio (MORAIS *et al.* 2022).

Os custos associados de operação e instalação podem variar, sendo influenciados pela capacidade de operação, tamanho da instalação, e se o modelo de gestão é público ou privado. Porém, de modo geral, verifica-se que o modelo de gestão pública possui menor custo operacional (PIMENTEL *et al.*, 2020).

De acordo com dados da Abrelpe (2021), a produção de resíduos sólidos urbanos foi afetada no Brasil devido à pandemia do COVID19, onde, com isso, a produção é cerca de 82,5 milhões de toneladas, ou em média 225.965 toneladas diária. Dessa forma, o processo de compostagem é um dos métodos considerados como sendo adequados para o Brasil, porém, a taxa de adesão ao processo ainda é ínfima. Estima-se que cerca de 100.000 toneladas de matéria orgânica são descartadas como RSU diariamente, no entanto, apenas 2% recebem o devido tratamento (MORAIS *et al.*, 2022).

A Política Nacional do Meio Ambiente e a Carta Magna asseveram a necessidade da realização da compostagem voltado para o tratamento final dos resíduos orgânicos, levando em consideração que esse processo traz muitos benefícios ecológicos e sociais (PINTO, 2020).

Outra tecnologia voltada para o tratamento de resíduos orgânicos é o processo de digestão anaeróbica (DA), que vem apresentando êxito nos últimos anos em sua aplicação, onde o objetivo é de transformar, por meio de baixo custo, os resíduos orgânicos em biogás. Sendo considerada uma fonte de energia renovável e de lucro, e com isso cada vez mais os estudos vêm se aprimorando visando à melhoria do desempenho do processo (MORAIS, *et al.* 2022).

A digestão anaeróbia (DA) faz a conversão da matéria orgânica em uma mistura de gases de metano, dióxido de carbono, através de uma complexa comunidade de microrganismos, além do mais esse processo apresenta vantagem de elevar a produção potencial do biogás, da estabilização orgânica e recuperação de energia (CAVALEIRO, 2020).

A digestão anaeróbica (DA) está sendo considerada como uma das primordiais opções comerciais e ambientais voltadas para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos, uma vez que a mesma vem sendo aplicada há muito tempo para tratamento de resíduos domésticos e industriais. Através deste processo pode realizar a produção de recursos energéticos renováveis, e ainda de efluentes que poderão ser usados como condicionadores do solo. A digestão anaeróbia é um método amplamente utilizado para a eliminação de resíduos orgânicos devido ao seu desempenho (DINIZ GUERRI *et al.*, 2021).

O resíduo da digestão anaeróbia é um composto orgânico rico em nutrientes, que tem crescido no Brasil como uma estratégia valiosa para o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos, favorecido pelas suas condições climáticas. Além dessa possibilidade, também se vê

a oportunidade de promover a produção de energia limpa e a redução de emissão de gases do efeito estufa. Quando o país utiliza este método e associa aos serviços de saneamento básico ambiental, promove a sustentabilidade e diminui os impactos ambientais (DING *et al.*, 2021).

O coprocessamento refere-se a uma tecnologia produtiva que faz o uso de resíduos industriais. Essa técnica favorece a eliminação econômica, eficiente e ambientalmente correta dos resíduos. Os resíduos industriais podem ser de várias naturezas, como exemplo pneus inservíveis, couro, borracha, areia, dentre outros, que após serem incinerados fazem a substituição de matérias-primas não renováveis (SRISOWMEYA *et al.*, 2020).

Araújo (2020), assevera que o coprocessamento constitui uma abordagem em que os resíduos sólidos desempenham um papel de substituir matérias-primas e/ou combustíveis na indústria de cimento. O autor também informa que a utilização dos resíduos no coprocessamento de cimento apresenta diversas vantagens. Isso inclui a redução da demanda por pedreiras, ausência de efeitos negativos nas emissões durante a produção, preserva a qualidade ambiental e técnica do produto, mantém a segurança dos trabalhadores assegurada, elimina completamente os compostos orgânicos, neutralização eficaz de gases. E ainda, o método permite incorporar traços de metais pesados de forma estável na estrutura de clínquer, sem gerar subprodutos como cinzas ou resíduos líquidos (CEMBUREAU, 2009). Portanto, o coprocessamento é uma alternativa sustentável e muito adequada para fazer a destinação de resíduos.

No processo de coprocessamento é fundamental o preparo dos resíduos para garantir a segurança e a eficácia deste método de reaproveitamento. A preparação dos resíduos começa com uma seleção adequada dos materiais a serem usados. Isso compreende a identificação da composição química, propriedades físicas e a origem destes resíduos. A partir disso, é possível definir como esses materiais poderão ser agregados ao processo de coprocessamento de forma a mitigar os impactos negativos (SILVA, 2021).

Essa técnica é muito utilizada no exterior como na Europa, Estados Unidos e Japão, há mais de 4 décadas. No Brasil, o coprocessamento vem sendo utilizado desde o início da década de 90. Neste método, os resíduos são incorporados de maneira parcial ao combustível que alimenta os fornos, provocando a transformação de calcário e argila em clínquer, a principal matéria-prima do cimento. A queima deve ser realizada em condições estritamente controladas conforme assevera a Política Nacional de Resíduos Sólidos (ANTENOR; SZIGETHY, 2020).

A incineração é um outro método de tratamento de resíduos sólidos urbanos, onde faz uso da alta temperatura através da utilização de fornos para realizar a queima dos resíduos, que

com isso entram em completa combustão. Dessa forma, garante que haja o tratamento sanitário e conseqüentemente a completa destruição de componentes orgânicos, por oxidação, por meio de temperaturas que variam de 900° até 1250°C (SANTOS *et al.*, 2019).

O processo de incineração é vantajoso e deve ser realizado com base nas leis ambientais brasileiras e na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/10), a qual faz a determinação de todos os parâmetros cruciais para que o supracitado método possa ser aplicado sem que venha ocasionar prejuízos para a sociedade e para o meio ambiente (SILVA *et al.*, 2020).

Destaca-se que a incineração de RSU ainda é incipiente em países que estão em desenvolvimento, devido a sua má reputação relacionada ao ocasionamento de emissões de efluentes que podem afetar a saúde humana e o meio ambiente. No Brasil, a incineração vem crescendo no decorrer dos anos, principalmente em resíduos sólidos no âmbito da saúde, e no ano de 2018 teve um aumento da capacidade instalada, que foi de 58.874 para 196.262 toneladas por ano, apresentando desta forma um crescimento de cerca de 330% em 10 anos, sendo crucial para a redução dos resíduos sólidos urbanos (SILVA *et al.*, 2020).

No Brasil, também são usados lixões e aterros para tratamento dos resíduos sólidos. O método conhecido como lixão é considerado obsoleto e inadequado. Ele envolve uma simples descarga de resíduos no solo, sem considerar medidas de proteção ambiental ou de saúde pública. Já a técnica do aterro controlado, também conhecida como remediação, é mencionada como uma forma discutível de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo. Geralmente, esses aterros são implementados como critérios de órgãos ambientais e podem incluir melhorias no acesso, distribuição periódica de resíduos e coleta de águas pluviais. No entanto, essas medidas têm sucesso limitado na redução dos impactos ambientais decorrentes do descarte final. Por fim, o aterro sanitário é uma técnica criada especificamente para destinação final de resíduos de atividades humanas, que envolve os resíduos domésticos, comerciais, de construção e de esgoto. Este tipo de aterro consiste em enterrar resíduos, e mudar sua distribuição gradual e diminuição de volume ao longo do tempo.

2.3 INDÚSTRIA DE PRODUTOS CERÂMICOS

A indústria cerâmica possui relevante importância no âmbito mundial por conta de sua ampla diversidade de aplicação. Os produtos cerâmicos se apresentam bastante versáteis em relação a sua aplicabilidade, abrangendo desde produção de azulejos, blocos cerâmicos e telhas,

na construção civil, até utilização no setor de saúde e aeroespacial, dentre outros (VIEIRA; CARVALHO, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2015).

A cerâmica é um dos elementos utilizados mais antigos da humanidade, uma vez que a argila fora utilizada por todas as sociedades, desde a sociedade mais antiga até a atualidade. Estudos revelam que os artefatos de cerâmicas mais antigas apontados pelos arqueólogos têm cerca de 8.000 anos, os quais foram encontrados no Japão. Vale ressaltar que a técnica de construção de blocos cerâmicos remonta aos antigos caldeus e assírios, que em torno de 4000 a. C, já faziam o uso desse material para construir casas e palácios, sendo que o tijolo fora encontrado em várias escavações arqueológicas na cidade de Jericó, no Oriente Médio (ANFACER, 2016).

O termo cerâmica advém do grego, *keramike* – terra queimada, ou *keramos* – argila queimada. Este material é inorgânico, não-metálico e moldável. No decorrer da fase plástica e ainda submetido à cocção, a temperatura varia entre 900°C e 1.000°C, além do mais, no supracitado processo, que é conhecido como Queima, a argila plástica passa a ter rigidez e resistência, por meio da fusão de alguns componentes da massa (ANICER, 2016a).

No âmbito brasileiro, a cerâmica apresentou alguns primeiros registros na Ilha de Marajó (PA) por meio da cultura indígena que há no local, onde o material que era produzido envolvia em seu bojo técnicas de raspagem, incisão, excisão e pintura. Dessa forma, os colonizadores criaram as primeiras olarias através de um processo rudimentar que era utilizado pelo povo nativo (ANICER, 2016b).

O processo de produção da cerâmica vermelha é relativamente simples (Figura 1), onde essa produção pode ser realizada por várias escalas: micro, pequena ou média empresa, considerando os mais distintos níveis e estágios (LIMA; SPÍNDOLA, 2014).

No que diz respeito ao consumo de lenha, o setor cerâmico está entre um dos principais consumidores, uma vez que a produção de cerâmica consome aproximadamente 10% de toda a lenha consumida no país. Além do mais, os principais tipos de lenha utilizados são a nativa e os resíduos de madeira tais como: cavaco, serragem, briquetes, dentre outros resíduos (BRASIL, 2011).

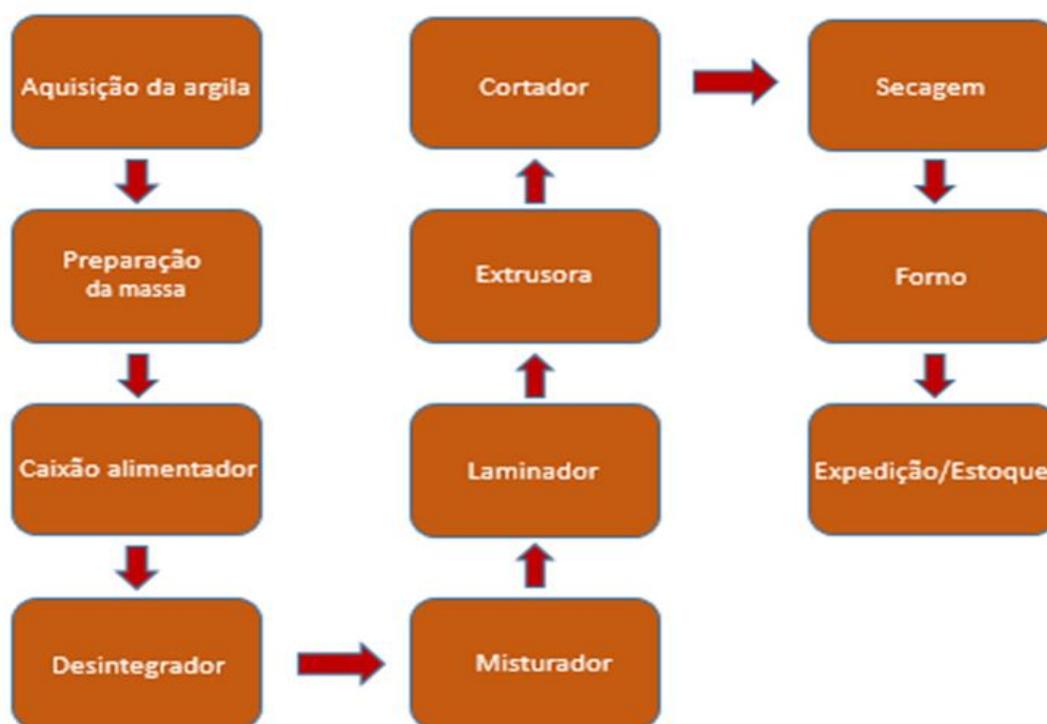


Figura 1 - Esquematização do processo de produção
 Fonte: Adaptado de (Vieira; Carvalho, 2016)

Conforme ABCERAM (2021), os processos de fabricação dos variados produtos cerâmicos estão alinhados com uma sequência de maneira que ele inicia na preparação da matéria-prima e da massa, formação das peças, tratamento térmico e acabamento. A fabricação de artefatos cerâmicos possui uma perda razoável de material, onde o seu descarte, como sendo entulho, é inevitável devido às dificuldades de reutilização no processo industrial.

Desta forma, é importante destacar que o volume de resíduos cerâmicos produzidos pelas indústrias culmina em um sério problema de grande impacto ambiental, quando ocorre o descarte sem a devida destinação planejada (ZACCARON *et al.*, 2016). Sempre existirá uma porcentagem de perdas na indústria de forma direta por meio de resíduos de bloco cerâmico conhecido como chamo-te ou cacos, e com isso trazer sérios prejuízos para o meio ambiente (POSSA; ANTUNES, 2016).

2.4 CLASSIFICAÇÃO E GESTÃO DOS RESÍDUIS CERÂMICOS

A classificação dos resíduos possui regulamentação pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da NBR 10.004/04. Dessa forma, pode-se destacar que os resíduos sólidos podem ser classificados: 1) Quanto à origem (Lixo doméstico, Lixo comercial,

Lixo industrial, Lixo Hospitalar, Lixo público, Lixo agrícola e Lixo nuclear). 2) Quanto à Natureza Física (secos e úmidos); 3). Quanto a composição Química (Orgânicos e Inorgânicos); e 4) Quanto ao grau de periculosidade (Resíduos Classe I – Perigosos, Classe II Não inertes e Classe III inertes) (Figura 2).



Figura 2 - Classificação dos resíduos sólidos
 Fonte: Adaptado de NBR 10.004/04 (2016)

É importante destacar que, para que haja um correto gerenciamento dos resíduos sólidos da cerâmica, é necessário a demonstração por meio de fluxograma com base em uma sequência correta que vai desde a segregação até a destinação final (Figura 3), além do mais todos os resíduos gerados devem ser classificados com base na NBR 10.004 (ABNT, 2004).



Figura 3 - Fluxograma das etapas do gerenciamento dos resíduos sólidos desenvolvida na cerâmica
 Fonte: Adaptado de Biff (2016).

Neste sentido, pode-se frisar que o gerenciamento culmina em um conjunto de ações encadeadas e articuladas que são aplicadas em face dos processos de segregação, coleta, caracterização, classificação, manipulação, acondicionamento, transporte, armazenamento, recuperação, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos (BIFF, 2016).

2.5 EMISSÕES

É importante destacar que os principais problemas de emissões atmosféricas do setor cerâmico estão associados diretamente com a emissão de material particulado rico em metais pesados e outros poluentes inorgânicos, principalmente os fluoretos (CÂMARA *et al.*, 2015). Além do mais, o manuseio e processamento da argila bem como de outras matérias-primas no ramo da cerâmica contribui para a formação de pó, que podem vir a ser dispersos no meio ambiente e ocasionar sérios problemas respiratórios (BIFF, 2016).

Destaca-se ainda que a geração de material particulado também se encontra associado com o transporte de forma inadequada da argila em caminhões que não possuem alguma cobertura, ou ainda pela armazenagem da argila fora de silos ou galpões e ainda pela preparação da massa da cerâmica pela forma seca e ainda por meio úmido através dos processos de moagem, peneiramento, atomização e ainda na secagem (BIFF, 2016).

Os compostos gasosos que são liberados no decorrer da secagem e da queima são derivados principalmente dos compostos que se fazem presente nas matérias-primas da cerâmica. Adicionalmente a este processo, os combustíveis corroboram fortemente para que haja as emissões de poluentes gasosos (BIFF, 2016). Destaca-se que quando há a queima da peça em um processo adicional de decoração, deve-se levar também em consideração as emissões advindas dessa queima. As colas e substâncias aglutinantes também fazem a liberação de substâncias orgânicas voláteis no decorrer desse processo de queima, e ainda pode haver emissões adicionais de metais pesados que advém de pigmentos inorgânicos à base de óxidos de metais pesados (CÂMARA *et al*, 2015).

Na Figura 1 estão descritas as emissões gasosas relevantes que ocorrem na indústria cerâmica:

EMISSÕES GASOSAS ADVINDAS DA INDÚSTRIA DA CERÂMICA
Dióxido de Enxofre (e outros compostos de enxofre): as concentrações de SO _x (principalmente SO ₂) nos resíduos gasosos estão intimamente relacionadas ao teor de enxofre contido nas matérias-primas (piritas, gesso e outros sulfatos) e nos combustíveis (óleos combustíveis);
Oxidos de Nitrogênio (e compostos nitrogenados): o NO _x é produzido principalmente pela “fixação” térmica do nitrogênio e do oxigênio a partir da combustão do ar. Esta reação é favorecida pelas altas temperaturas (aprox. >1200°C) e pelo excesso de oxigênio;
Monóxido de Carbono (e dióxido de carbono): o CO surge a partir da combustão da matéria orgânica presente no material cerâmico, especialmente da dissociação térmica dos carbonatos de cálcio e magnésio durante a queima, além do próprio combustível (principalmente no caso de óleos);
Compostos Orgânicos Voláteis (COV's): a emissão de COV's é resultado da combustão incompleta e da volatilização da matéria orgânica contida na argila, pois na etapa de mistura da massa cerâmica, a emissão de COV's pode ocorrer pela volatilização das pastas, dos plastificantes e lubrificantes. Além das substâncias orgânicas presentes na matéria-prima utilizada na produção da cerâmica, são adicionados produtos auxiliares para a secagem, adesivos, esmaltes e outros, os quais podem produzir compostos orgânicos voláteis durante o processo de queima. Eles são emitidos à temperatura de aproximadamente 400°C na zona de pré-aquecimento do forno, sendo que a liberação de benzeno para a atmosfera pode ocorrer numa escala de até 1mg/m ³ ;
Cloretos: a maioria das argilas contém traços naturais de cloro (geralmente derivados da formação marítima) que pode ser liberado nos processos de queima, principalmente na forma de HCl;
Fluoretos: a argila, matéria-prima na fabricação de produtos cerâmicos contém flúor em sua composição, podendo ocasionar a liberação de fluoretos (principalmente HF), durante o aquecimento - particularmente acima de 800°C. Desta forma, em fornos periodicamente operados, tais como fornos intermitentes (shuttle), são emitidas grandes quantidades de fluoretos entre 800 e 1150°C. Esses fluoretos podem provocar doenças respiratórias, corrosão de materiais, efeitos tóxicos para plantas com reflexos na cadeia alimentar humana e mesmo chuvas ácidas;
Metais (e seus compostos): o teor de metais pesados na matéria-prima é muito baixo, porém sua presença pode advir dos pigmentos cerâmicos e esmaltes, que poderiam ser emitidos à atmosfera durante a queima.

Figura 4 - Emissões gasosas advindas da indústria da cerâmica
Fonte: (CETESB, 2008)

As substâncias que são emitidas durante o processo de moagem da matéria-prima são referentes a partículas de argila, quartzo e feldspato, conforme pode ser observado na Figura 5. A Figura 6 apresenta as substâncias emitidas durante o processo de secagem (CETESB, 2008).

Substâncias emitidas	Concentração (mg/m ³)
Particulados	150 - 1500
NO _x como NO ₂	3 - 15
CO	1 - 15
Cloretos como HCl	1 - 5
Boro	<0,3
Chumbo	<0,15
CO ₂	1,5 – 4,0% vol.

Figura 5 - Substâncias que são emitidas durante a moagem.
Fonte: (CETESB, 2008).

Substâncias emitidas	Concentração (mg/m ³)
Particulados	5 -25 mg/m ³
CO ₂	1 - 3 % vol.

Figura 6 - Substâncias que são emitidas durante a secagem.
Fonte: (CETESB, 2008).

Durante a queima há emissão de muitas substâncias poluentes altamente concentradas (Figura 7).

Substâncias emitidas	Concentração (mg/m ³)
Particulados	5 - 50
SO _x como SO ₂	<10
NO _x como NO ₂	15 - 60
CO	1 - 15
Fluoretos como HF	5 - 40
Cloretos como HCl	20 - 90
Boro	<0,5
Chumbo	<0,15
CO ₂	1,5 – 4,0% vol.

Figura 7 - Substâncias que são emitidas durante a queima
Fonte: (CETESB, 2008).

A emissão de material particulado ocorre também através de outras fontes como na fase da preparação do esmalte, nas fases de mistura, na moagem e na aplicação por spray, além das operações de decoração, queima e acabamento das peças (BIFF, 2016). Adicionalmente, há empresas que fazem o uso de óleo e lenha nos fornos e/ou secadores, onde com isso há a

formação de particulados do processo de combustão dos supracitados energéticos (CÂMARA *et al*, 2015).

3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Os primeiros estudos voltados a questões ambientais são da década de 1960, quando grandes organizações, pensando na redução de seus custos operacionais, decidiram avaliar o consumo de energia de seus processos produtivos. Alguns anos depois, diante da crise do petróleo, o mundo começou a se conscientizar da necessidade de avaliar o uso dos recursos naturais. Entretanto, foi a Coca Cola, em 1969, que realizou os primeiros estudos voltados a analisar o impacto de suas embalagens (ARLINDO JÚNIOR *et al*, 2016).

Segundo Arlindo Júnior *et al* conforme, em 1997 foi criada a Norma *International Organization for Standardization* (ISO) 14040, com objetivo de instituir normas e padrões para a realização de estudos de avaliação do ciclo de vida.

No contexto da gestão ambiental, o ciclo de vida pertinente refere-se ao ciclo físico que inclui as etapas sucessivas do procedimento de produção e distribuição de um produto ou serviço. Esse ciclo abrange desde a introdução dos recursos produtivos no ambiente até a disposição final após a utilização ou consumo, incluindo os intermediários, como o processamento, o transporte, o armazenamento, e outros. Além disso, estão incluídas as possibilidades de reutilização, como recuperação, reciclagem e valorização energética. (BARBIERI, 2016).

Conforme Barbieri (2016), a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) representa um instrumento destinado à compilação e avaliação dos efeitos ambientais de um produto ou serviço ao longo de sua vida útil. A implementação inicial dessa abordagem ocorreu na década de 1960, adotada por algumas empresas. Contudo, a sistematização da ACV se consolidou posteriormente com a colaboração de várias instituições de ensino e pesquisa, bem como de governos de várias nações. A origem da ACV é um tópico de debate, pois existem diversos instrumentos semelhantes e uma disputa sobre a autoria entre autores e empresas. Alguns argumentos que seu surgimento está ligado à análise da energia líquida, utilizada para determinar as demandas acumulativas de energia em produtos da indústria química, sendo o primeiro trabalho conhecido datado de 1969. Outro precursor importante foi o método de análise denominado "material-processo- produto", que surgiu no início da década de 1970 e tinha como foco a quantificação das entradas e saídas nos processos produtivos.

Para Jugende *et. al* (2022), o ciclo de vida abrange toda a cadeia de suprimentos relacionada à produção de um produto, de montante a jusante, englobando tanto a fase de extração de recursos naturais (como a extração de minerais) do meio ambiente, para a produção

de materiais (exemplo: a transformação de minérios em materiais metálicos por meio da metalurgia).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), conforme estabelecida pela ABNT (2009a), representa um método abrangente e essencial para analisar os impactos ambientais e potenciais de produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida. Este método, fundamentado no conceito de ciclo de vida, integra os fluxos de massa e energia, tanto de entrada quanto de saída, permitindo a avaliação minuciosa dos impactos ambientais associados a um produto ou processo. Desde a extração da matéria-prima até sua disposição final, a ACV examina detalhadamente cada etapa do ciclo de vida do produto, proporcionando uma compreensão holística e profunda de seus efeitos ambientais.

Para Finnveden *et al* (2003), uma ACV total e quantitativa não havia sido realizada e talvez nem o seja. Podendo ser importante começar estudos com menos detalhes e focar em estudos com mais riquezas de detalhes até chegar há algo maior. Sendo assim, sugere-se a aplicação de métodos simplificados que pode ser definida como "uma variedade simplificada de uma ACV pormenorizada realizada de acordo com diretrizes que não estão em total conformidade com as normas ISO 14040 e representativa de estudos que normalmente requerem de 1 a 20 dias de trabalho" (GUINSE *et al.*, 2001). Esta análise pode ser qualitativa, quantitativa ou semiquantitativa. A literatura apresenta uma variedade de métodos simplificados de ACV, incluindo as análises feitas por Christiansen (1997), Graedel (1998), Todd e Curran (1999) e Johansson *et al.* (2001). Diferentes abordagens para racionalizar as análises quantitativas também foram avaliadas (LINDFORS *et al.*, 1995; Hunt *et al.*, 1998). Os métodos simplificados de ACV encontram aplicação em diversas áreas, como o desenvolvimento e a aquisição de produtos, embora muitos deles sejam desenvolvidos para grupos específicos de produtos e não estejam devidamente documentados (aqui, os termos "simplificado" e "racionalizado" são usados como coincidentes, conforme explicado em publicações anteriores, por exemplo, Christiansen (1997).

A importância dessa abordagem torna-se evidente na figura 4, que ilustra de maneira visual os diversos estágios do ciclo de vida de um produto, levando em consideração toda a cadeia de suprimentos envolvida. Ao observar essa representação gráfica, torna-se claro como a ACV engloba não apenas a produção e o uso do produto, mas também a obtenção de matéria-prima, o transporte, o armazenamento e, por fim, o descarte ou a reciclagem. Esta visão ampla e integrada oferecida pela ACV possibilita a identificação precisa dos pontos críticos em termos de impacto ambiental, permitindo a tomada de decisões informadas e sustentáveis em relação ao produto ou processo em questão.

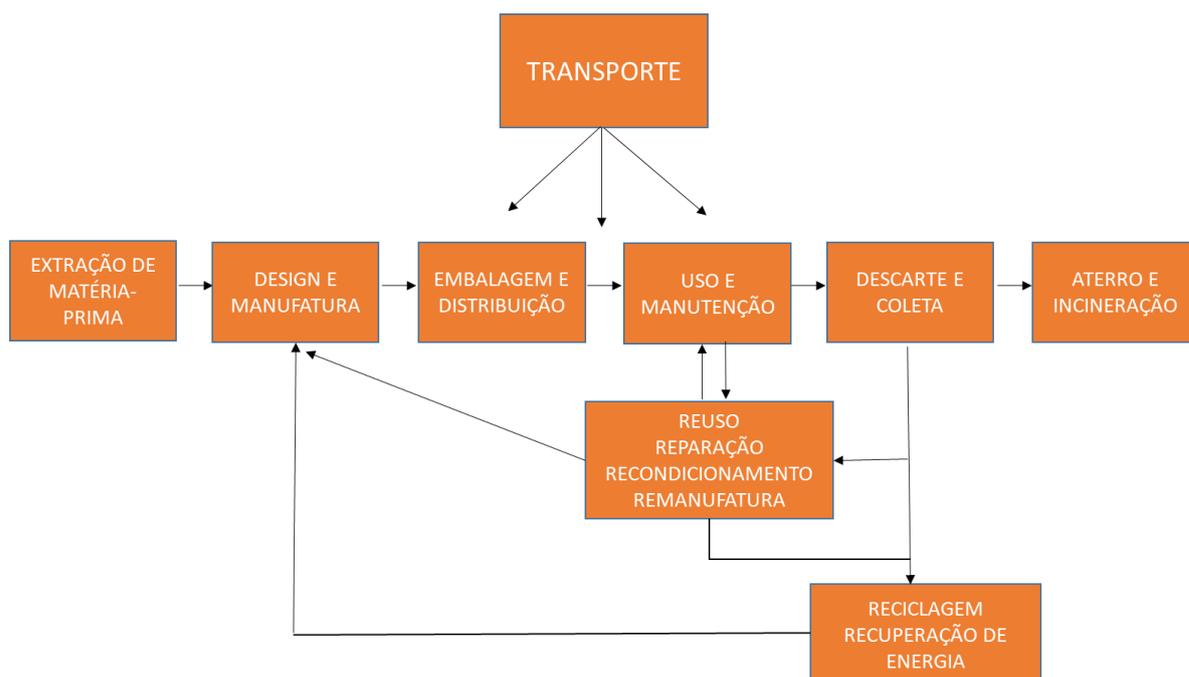


Figura 8 - Estágios do ciclo de vida de um produto
 Fonte: Adaptado de Jungede *et al.* (2022)

A figura acima confirma as afirmações feitas pelos autores previamente citados no texto, enfatizando que a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) engloba todo o processo, desde a aquisição da matéria-prima até o uso e descarte, cobrindo, portanto, o ciclo completo. Isso reforça a ideia de uma análise completa e abrangente das etapas que compõem o ciclo de vida do produto.

3.1 ESTRUTURA DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A avaliação do ciclo de vida é essencial, conforme estabelecido pela norma ISO 14040:2009, que define os princípios fundamentais para a realização deste tipo de análise.

Segundo a ABNT (2009a), a ACV fornece um valioso aporte para empresas avaliarem diversos aspectos que envolvem a oportunidade de identificar melhorias quanto ao desempenho ambiental dos produtos em diferentes pontos do ciclo de vida. Além disso, ela contribui para o aprimoramento do nível de informação disponível para os tomadores de decisão, sejam eles em empresas governamentais ou não governamentais. Isso inclui a seleção de indicadores de desempenho relevantes e a escolha do método mais apropriado. A norma também destaca a importância da consideração de aspectos ambientais no marketing, como a implementação de sistemas de rotulagem ecológica, a abordagem de questões ambientais e a elaboração de informações sobre as emissões ambientais de produtos.

Para efetivar a ACV, a norma estabelece que são necessárias quatro fases, como ilustrado na figura 5, que apresenta a estrutura da ACV. Essa representação visual das etapas do ciclo de vida do produto enfatiza a relevância da ACV como uma ferramenta essencial para promover a sustentabilidade, tomar decisões embasadas em dados e minimizar o impacto ambiental ao longo de todo o ciclo de vida de um produto.

Parte superior do formulário

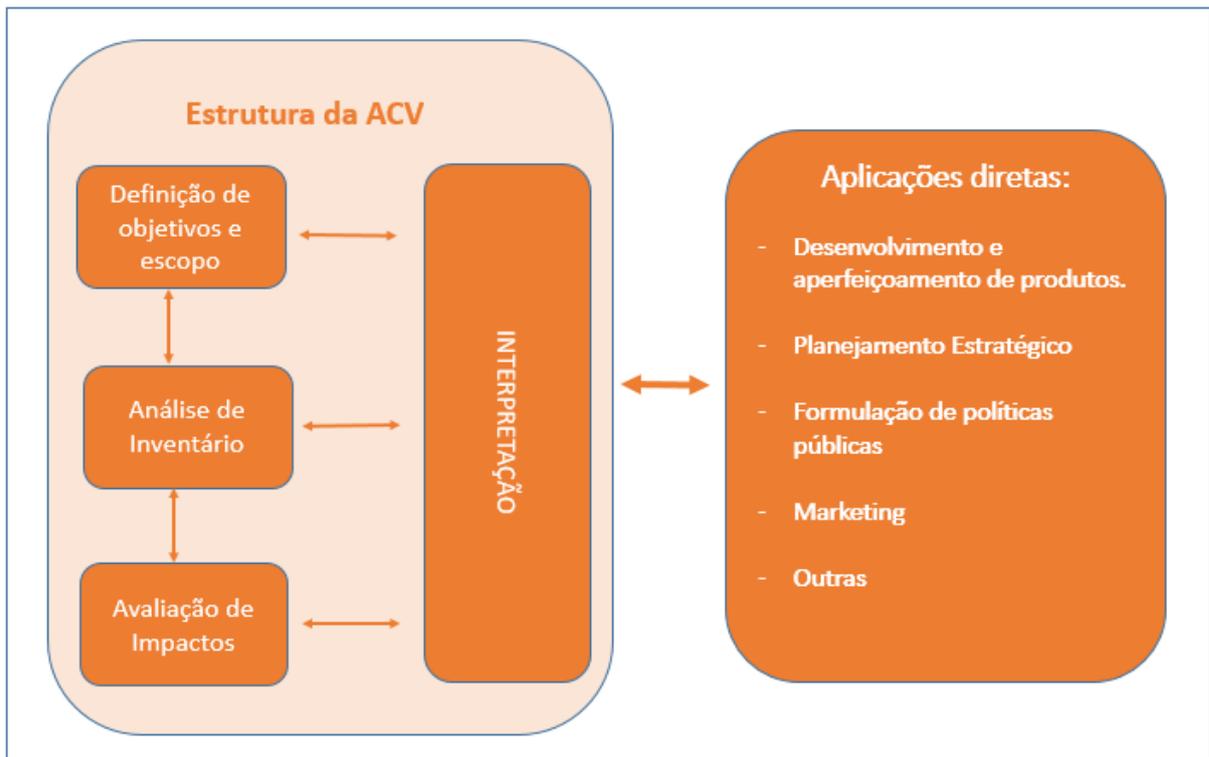


Figura 9 Estrutura da ACV
Fonte: ABNT, Norma ISO 14040 (2009)

De acordo com Jugende *et al* (2022), cada fase da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) requer a realização de atividades específicas em conformidade com as diretrizes normativas. As decisões relacionadas ao escopo da análise, abrangência do estudo, método de modelagem do inventário e os impactos ambientais examinados determinam o esforço necessário para conduzir o estudo de ACV. Esse processo sistemático envolve etapas sequenciais e interativas, onde a interatividade é fundamental devido à complexidade das interações entre o sistema de produto e o ambiente. Dessa forma, novas informações e sugestões podem ser incorporadas ao longo do estudo, permitindo uma análise mais completa e consistente. A abordagem interativa entre as fases contribui significativamente para a amplitude e confiabilidade tanto do estudo quanto dos resultados obtidos.

O escopo de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), incluindo o limite do sistema e o nível de detalhamento, varia conforme o objeto e o propósito do estudo. A profundidade e a extensão do ACV podem mudar significativamente, dependendo das metas específicas do estudo em questão. A etapa de inventário do ciclo de vida (ICV) representa a segunda fase do ACV, envolvendo a coleta de dados de entrada/saída relacionados ao sistema analisado. Na terceira fase, a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) fornece informações adicionais para uma compreensão aprofundada da relevância ambiental dos resultados do ICV de um produto. Finalmente, na fase de interpretação do ciclo de vida, os resultados do ICV e/ou da AICV são resumidos e explicados, orientando conclusões, recomendações e decisões de acordo com os objetivos e o escopo definidos para o estudo (ABNT, 2009).

4 METODOLOGIA

O presente trabalho refere-se a um estudo de caso de caráter descritivo, versado em apresentar as várias facetas de um evento ou problema específico. Conforme Gil (2008), “o estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado”. Em se tratando do método de investigação particular aplicado Yin (2001) preleciona que: “Um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”.

O estudo de caso foi caracterizado como descritivo porque visa verificar e identificar os resíduos sólidos decorrentes do processo produtivo de uma propriedade particular do município de Rondonópolis. Esta metodologia, ainda cria uma ligação entre o pesquisador e o objeto de estudo, estabelecendo melhor compreensão e conhecimento em relação à real situação do objeto de estudo e ao tema estudado.

Continuando a discussão sobre esse método de pesquisa, é importante ressaltar o seguinte ponto:

As pesquisas desse tipo têm como objetivo principal a descrição das particularidades de uma população específica ou de um fenômeno, bem como o estabelecimento de relações entre variáveis. Há uma ampla gama de estudos que podem ser categorizados sob essa designação, e uma de suas características mais distintivas é a adoção de técnicas padronizadas para a coleta de dados (GIL, 2008).

A propriedade, objeto de estudo, está situada no município de Rondonópolis, localizada na região sudeste do estado de Mato Grosso. Essa localização é estrategicamente significativa por situar-se no entroncamento das Rodovias BR-163 e BR-364, as quais ligam as regiões norte e sul do país. Essa posição privilegiada confere à região um destaque no cenário brasileiro como ponto crucial de ligação e escoamento de produção.

Diante da importância dessa temática, é fundamental enfatizar que a condução de uma avaliação da cadeia produtiva da indústria de artefatos cerâmicos, como foco na produção de tijolos, desempenha um papel fundamental, considerando que esse procedimento não apenas viabiliza a identificação dos aspectos ambientais, mas também a análise dos resíduos sólidos gerados e o seu impacto no meio ambiente. Essa abordagem contribui de maneira significativa para o planejamento, organização, aprimoramento e adesão à implementação de medidas voltadas para minimização de danos ambientais.

Com este propósito, realizou-se visitas *in loco* para observar e acompanhar as etapas de produção de artefatos cerâmicos na indústria. As visitas possibilitaram identificar os resíduos sólidos resultantes deste processo produtivo. Além disso, fez-se os registros de informações acerca das quantidades de materiais produzidos e utilizados para produção, bem como os resíduos gerados em ocorrência de situações imprevistas ao longo do processo. Para atingir esse objetivo, foram empregadas ferramentas que possibilitaram tanto a quantificação quanto a qualificação das ações inerentes ao projeto.

Neste ensejo Carvalho *et al.* (2019), fazendo uso de vários autores, destacam a natureza própria tanto dos métodos quantitativos, quanto qualitativos da pesquisa, como descrito:

A pesquisa qualitativa lida com fenômenos: prevê a análise hermenêutica dos dados coletados” (APPOLINÁRIO, 2004, p. 151). Para Gonsalves (2003, p. 68), esse tipo de pesquisa possibilita tanto a compreensão como a interpretação do fenômeno, considerando o significado que os outros dão às suas práticas, o que impõe ao pesquisador uma abordagem hermenêutica”. [...] Assim, enquanto a pesquisa de natureza qualitativa lida com fenômenos, Appolinário (2004) afirma que a de cunho quantitativo lida com fatos. Nesse tipo de pesquisa, portanto, as variáveis devem ser rigorosamente determinadas e sua mensuração já deve estar pressuposta pelo próprio método, partindo de uma análise quase sempre mediada por algum critério matemático.” (CARVALHO *et al.*, 2019, p. 29-30).

Também, foram exploradas várias bases para o levantamento bibliográfico, incluindo plataformas digitais de acesso livre, como o Google Acadêmico, a *Science Electronic Library* (SCIELO), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e a biblioteca virtual da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR).

Para garantir a eficácia da pesquisa, foi necessário adquirir um entendimento maior das etapas existentes no processo produtivo. Posteriormente, foi realizado um diagnóstico dos resíduos sólidos gerados durante a produção na indústria de artefatos de cerâmica. Para essa finalidade, um planejamento foi desenhado, incluindo a realização de visitas técnicas. Durante essas visitas, foram conduzidas entrevistas e observações das etapas de produção dos tijolos cerâmicos. A empresa em questão solicitou que seu nome e localização não fossem divulgados. As visitas ocorriam em dias e turnos alternados, contando sempre com a presença de um representante da empresa para acompanhamento.

O processo produtivo dos artefatos cerâmicos é constituído por várias etapas sequenciais, incluindo a desintegração, mistura, laminação, extrusão, corte, secagem, queima, inspeção e separação dos produtos, estocagem e expedição. A argila utilizada na produção dos artefatos cerâmicos não é extraída na propriedade, mas em propriedade de terceiro. Da mesma

forma, a lenha de eucalipto utilizada para queima dos produtos tem origem externa. A partir dessa etapa em mente, iniciou-se a análise dos resíduos sólidos decorrentes das fases.

É importante destacar que os blocos cerâmicos comumente conhecidos como tijolos furados são produzidos por extrusão. Entende-se por extrusão o processo em que a maromba ejeta o barro por meio de uma boquilha conferindo tamanho e o desenho do bloco. A espessura do tijolo e a dimensão, são determinadas pelo corte, geralmente realizado com auxílio de um arame. Portanto, o processo de fabricação é continuado, observados os espaços para corte e remoção para secagem (PINHEIRO *et al.*, 2020).

Nessa perspectiva, ao analisar a fase de desintegração, mistura e laminação não foram observados nenhum tipo de resíduo gerado durante as visitas, corroborando com a fala do colaborador entrevistado de que não há resíduos ou este é quase inexistente.

Na etapa de extrusão, é possível verificar momentos em que produtos não atendem às normas de conformidade. Os defeitos podem surgir em virtude da qualidade da matéria-prima utilizada, da umidade do material (argila), ou ainda no processo de ajuste da máquina. Esses ajustes podem acontecer por motivos tanto de manutenção mecânica ou quanto para substituição de boquilha, necessária para iniciar uma nova linha de produção. Em uma das visitas pôde-se observar uma situação desse tipo, relacionada a troca da boquilha na extrusora. No entanto, não foi possível mensurar a quantidade de material não conforme, uma vez que este material é redirecionado de volta ao laminador ou misturador. Esse redirecionamento de matéria-prima é realizado de forma integral, cooperando para com a utilização eficiente do material.

A capacidade de produção da máquina depende do produto que está na linha, alcançando em média de 60 peças por minuto, o que corresponde a aproximadamente 3600 peças por dia. Desta maneira, interromper a produção torna-se inviável, tendo em vista que isso poderia comprometer os níveis de produtividade, bem como causar danos ambientais na perda das características do material, gerando resíduos sólidos e outros desperdícios.

Quanto ao ciclo de corte não foi verificada geração de resíduo sólido. Neste processo pode haver um rompimento do arame que faz o corte, porém a máquina é desligada para reposição do fio e as peças danificadas retornam para a linha de produção passando pelo laminador e misturador novamente. Os tijolos depois de prontos ainda possuem umidade decorrente do processo de umidificação da argila. Porém, é necessário que esta água seja completamente eliminada para que não haja danos nos produtos durante o processo de queima, caracterizando desta forma a etapa de secagem. O processo de secagem ocorre ao ar livre e também não foi observado geração de resíduos sólidos durante este processo.

Para as indústrias cerâmicas os fornos fazem parte da etapa final do processo de produção, essa etapa é chamada de queima. Esta etapa é responsável pela qualidade do produto e pelo consumo energético. Existem vários tipos de fornos usados pela indústria cerâmica, no caso desta empresa, o proprietário optou pelo forno tipo abóboda. Conforme Júnior *et al* (2015) às características destes fornos são:

Os fornos abóboda são fornos de ciclo intermitente em alvenaria e a temperatura não é isolada. Exibe seção horizontal circular, normalmente, possuem diâmetro de cerca de 7 m, altura de 2,5 m e teto em forma de abóboda, com tiragem de gases quentes em fluxo descendente, também chamada “chama reversível”, através de crivo em seu piso (soleira). A queima se dá em fornalhas, de quatro a seis, dispostas de forma equidistante em seu perímetro lateral. A queima do combustível estabelece um fluxo ascendente de gases quentes em direção à abóboda circular, daí descendo através da carga, trocando calor com a mesma, indo em direção à soleira do forno, onde se encontra o crivo de passagem dos gases quentes para os canais na parte inferior do forno. Daí os gases quentes (fumaça) seguem para a chaminé que induz a tiragem dos gases de combustão, ainda que está também possa ser induzida por exaustores. Em geral, opera-se com mais de um forno deste tipo, buscando ter uma produção mais contínua numa empresa, e em alguns casos inclui a recuperação de calor para a secagem.

Na empresa, objeto de estudo, os fornos têm capacidade para vinte mil tijolos por ciclo. Atualmente, possuem três fornos e geralmente os três fornos estão em atividade com uma produção média semanal de sessenta mil tijolos. Após o processo de queima é iniciado o resfriamento e sem seguida as peças são retiradas dos fornos.

Neste contexto, observou-se que em média após o processo de queima e resfriamento tem-se uma perda de 200 peças/ciclo. Estes tijolos podem ter sido quebrados durante o processo de queima ou podem cair e quebrar conforme o manuseio de funcionários e são chamados de cacos. Além dos casos de quebra, ainda, pode ocorrer a queima do tijolo pela dificuldade de homogeneidade da temperatura característica do forno tipo abóboda, apresentando uma média de 200 peças/ciclo, totalizando uma perda média por ciclo de 400 unidades de tijolos.

A capacidade média de produção da empresa em questão é de 240 mil tijolos/mês. Dessa maneira, a etapa da queima gera em média 2400 peças danificadas, ou seja, de resíduos sólidos. Já os outros 2400 tijolos requeimados são comercializados para fins específicos como para construção de alicerces em construções de alvenaria e muro de arrimo, por exemplo. O que não caracterizaria a geração de resíduos sólidos provenientes deste processo.

No que diz respeito à etapa de queima, ainda temos os resíduos sólidos derivados da matriz energética, a lenha. A indústria em questão utiliza madeira de reflorestamento, o eucalipto. Durante uma visita foi possível fazer a pesagem dos resíduos de cinzas, a média de

cinzas por forno é de 35 kg. Considerando a produção mensal em torno de 12 fornos tem-se uma média de 420 Kg de resíduos de cinza provenientes da queima da madeira (Figura 10).

Consumo por ciclo (tijolo 9x19x19)	
Capacidade de produção (milheiro)	20
Argila (ton.)	40
Água*(l)	18 mil
Peças produzidas de 1ª qualidade	19600
Perdas (peças)**	400
Cinzas (Kg)média	35
* a quantidade de água depende das características físico-químicas solo, na região de Rondonópolis a argila não é uniformes.	
** as perdas envolvem peças quebradas, requeimadas.	

Figura 10 – Produção
Fonte: Elaboração própria (2023)

Com a fundamentação no diagnóstico da cadeia produtiva, objetivou-se identificar os efeitos ambientais dos resíduos gerados em cada fase da produção da indústria de cerâmica no município de Rondonópolis (MT). Por conseguinte, a análise conduziu à identificação de medidas de mitigação destinadas a reduzir os impactos, incluindo a avaliação das práticas já implementadas pela indústria.

5 RESULTADOS

Em linhas gerais, toda atividade produtiva carrega consigo aspectos ambientais que têm o potencial de resultar em impactos ao meio ambiente, variando de acordo com o tipo de atividade. Caso as empresas não consigam identificar esses aspectos e não adotem uma abordagem consciente no uso dos recursos naturais, além de não implementarem medidas de mitigação, poderão causar danos irreparáveis ao meio ambiente. Esses danos podem abranger questões relativas ao solo, à água e ao ar, contribuindo significativamente para situações de agravo à saúde pública.

Para melhor compreensão do que são os aspectos ambientais de uma atividade produtiva, Telles (2022) diz que:

Aspecto ambiental é qualquer elemento integrante de uma atividade que tem potencial de alterar o meio ambiente. Essa alteração, caso ocorra, caracteriza o impacto ambiental. É a forma como sua atividade, serviço ou produto impacta o ambiente e como os elementos derivados das atividades, produtos ou serviços de uma organização podem interagir com o meio ambiente.

Pode-se observar através da figura 11 a relação entre o aspecto ambiental relacionado a atividade de exploração e utilização de recursos naturais por parte da indústria cerâmica e os seus respectivos impactos ambientais provenientes do processo produtivo da indústria cerâmica.

	Aspecto Ambiental	Possíveis impactos ambientais
Cerâmica	Extração de argila	erosão, aspecto visual da vegetação, permeabilidade do solo
	Lenha (matriz energética)	desmatamento de área de vegetação nativa
	Água	utilização sem controle
	Resíduos Sólidos	contaminação do solo, aspectos visuais do ambiente

Figura 11 Aspectos e Impactos Ambientais
Fonte: elaborado pelo autor

A extração da argila não é realizada diretamente pela empresa em estudo, e sim é adquirida de terceiros. Importante mencionar que a empresa fornecedora desta matéria-prima possui autorização dos órgãos ambientais competentes para realização de tal atividade. Sabe-se

que a exploração da argila pode provocar alguns impactos ambientais como a erosão do solo pela falta de vegetação, a poluição visual e a permeabilidade do solo. Segundo Landim (2019), o lençol freático torna-se passível de contaminação à medida em que vai sendo exposto, o tráfego de maquinários no local e o derramamento de combustível podem contribuir para a contaminação das águas subterrâneas.

A literatura nos traz algumas medidas mitigadoras que devem ser adotadas para reduzir o impacto ambiental dessa atividade, dentre elas estão, a solicitação de autorização da atividade junto aos órgãos ambientais. Importante mencionar que a empresa fornecedora desta matéria-prima possui autorização dos órgãos competentes.

Acerca das medidas mitigadoras Stein *et al.* (2017) afirma que para recuperar uma área degradada faz-se necessário conhecer muito bem as características da região onde haverá intervenção. Tais propriedades dependem do clima, da altitude, da pressão atmosférica, da chuva e dos aspectos como a quantidade de massa de ar de cada localidade. Para o autor, qualquer região que sofreu algum grau de alteração de natureza física, química ou biológica é uma área degradada. Desta forma, é indispensável que se faça a recuperação, ou seja, a reversão da sua condição atual ao estado inicial ou muito próximo dele. Dependendo dos danos causados à região, a recuperação poderá se dar através da restauração, reabilitação ou redestinação.

Corroborando com o autor acima o IPT (2018) diz que dependendo das condições topográficas, as medidas usuais para recuperação de áreas de extração de argila abrangem:

O preenchimento de cavas com materiais estéreis, e outros materiais disponíveis como resíduos de construção, terraplenagem para reafeiçoamento do relevo com a finalidade de atenuar o impacto visual, reduzir a possibilidade de erosões, permitindo a revegetação e, em certos casos, conversão das áreas para um novo uso

A principal fonte da matriz energética para queima dos produtos da empresa, objeto de estudo, é a lenha. De modo geral, um dos maiores impactos ambientais decorrentes dessa fonte de energia é o desmatamento de áreas de vegetação nativa, em conjunto com a ausência de práticas de reflorestamento das áreas desmatadas (GUIMARÃES, 2017).

Dentro dessa concepção, uma das estratégias mitigadoras desse impacto ambiental envolve o investimento em áreas de reflorestamento com fins energéticos, com objetivo de atender o consumo energético do empreendimento. Outras alternativas mitigadoras estão na utilização de biomassa envolvendo resíduos de origem vegetal, bem como, investimento em tecnologia para conferir maior aproveitamento energético das biomassas (ANICER, 2018). Para aumentar a eficiência energética também recomenda-se aproveitar o calor gerado pelo

resfriamento dos fornos para a secagem de produtos (FIEMG, 2013). Vale salientar que a empresa objeto de estudo adota o uso de madeira proveniente de reflorestamento, não mantendo área própria de manejo florestal.

Outro recurso natural utilizado na indústria cerâmica é a água. Este recurso desempenha um papel importante no processo de produção, sendo essencial para a hidratação da argila. É ingrediente principal nas etapas de mistura e laminação, ou seja, no preparo da massa e na modelagem do produto final. Para além dessas funções, a água está presente em várias atividades da empresa, como na limpeza e lavagem das máquinas e equipamentos.

É essencial considerar que a água é um recurso limitado, e seu uso descontrolado e o desperdício podem resultar em escassez. Em um cenário em que a disponibilidade de água é finita, é necessário adotar práticas sustentáveis de utilização, evitando transtornos futuros.

Como medidas mitigadoras do uso de água nas indústrias cerâmicas a ANICER (2020), sugere ações como a instalação de sistema de controle de fluxo na tubulação de abastecimento de água na etapa de mistura da argila, construção de reservatórios para captação de água pluvial, implantação de um sistema de controle e registro do uso de água e o reaproveitamento da bomba a vácuo.

A empresa, objeto de estudo, possui poço artesiano devidamente regulamentado e o controle de uso da água é feito cuidadosamente para que não haja desperdício de água, da argila e do tempo empregado na produção. O controle ainda é feito de forma manual por um funcionário que acompanha o processo. Recomenda-se que sejam feitas análises para verificar a viabilidade técnica e econômica para utilização de sistemas de controle eletrônico da água.

Quanto aos resíduos sólidos gerados pelas indústrias cerâmicas, que são os cacos, peças trincadas ou com fissuras ainda durante o processo de fabricação, material não conforme e as cinzas, é necessário que se faça uma destinação adequada.

As cinzas são decorrentes do processo de queima dos produtos. Segundo a FIEMG (2015), às cinzas decorrentes da queima de biomassa (lenha, cavaco, serragem e etc.) podem ser despejadas diretamente no solo e não possuem determinação específica de armazenagem, mas recomenda-se que sejam armazenadas em caçambas. A quantidade de cinzas geralmente está atrelada ao tipo de combustível utilizado e ao modelo de forno.

As cinzas podem causar a poluição do solo e de água, causa riscos à saúde humana devido a sua toxicidade. A indústria cerâmica estudada utiliza o forno tipo abóbada e conforme Almeida (2020), este tipo de forno é de fácil manuseio e gera menor quantidade de cinzas, o que se torna uma vantagem neste caso para a empresa. Devido ao tipo de forno e a madeira de

reflorestamento utilizada (*Eucalyptus*) a empresa não possui uma grande quantidade de cinzas estocadas.

As cinzas decorrentes do processo de combustão para geração de energia são produtos secundários. São compostos à base de sílica, sílica-aluminosa ou cálcio (NASCIMENTO *et al.*, 2019). Uma das possibilidades ambientalmente correta é destinar a aterros autorizados a receber este material. Conforme a ANICER (2020), existem outras possibilidades como reaproveitamento na agricultura como fertilizante ou para compostagem, adição a outros materiais para fabricação de produtos, inclusive de argamassa. A empresa atualmente descarta as cinzas no solo e ainda não possuem uma destinação que visa mitigar seus efeitos no meio ambiente.

O material não conforme cru que não atende aos padrões ideais do produto, retorna ao processo de produção, mesmo que não gere diretamente resíduos, ainda repercute questões ambientais. Tal fato, decorre da necessidade de retrabalho, de desperdício do tempo de trabalho humano e das máquinas, bem como o aumento de consumo de água, necessário para o reprocessamento da massa. Para diminuir esses danos, é importante investir em manutenção preventiva dos maquinários, além de treinamento com a equipe. Assim, é provável reduzir os danos ambientais e melhorar a eficiência do processo produtivo.

No contexto dos materiais queimados, que incluem os cacos e blocos que não atendem as conformidades, a ANICER (2020) recomenda ações mitigadoras. Entre as ações recomendadas estão o treinamento de funcionários nos vários processos. Além disso, a trituração destes materiais para posterior incorporação à massa é uma outra alternativa. Em relação às cavas de extração de argila, a proposta é o nivelamento dessas áreas. Ela ainda propõe para os materiais não conformes utilizá-los para manutenção dos fornos em operação, pavimentação de ruas e acessos da área industrial. A empresa informou que estes materiais são empregados na pavimentação das vias de acesso da indústria e pequenos reparos nos fornos. Os resíduos não utilizados ainda são doados para uso em aterros em projetos de construção, cumprindo assim, uma destinação ambientalmente correta.

A indústria estudada não possui um sistema de gestão da qualidade implantado. Logo, para que se tenha melhores resultados recomenda-se que seja avaliado a possibilidade de um modelo de gestão da qualidade, bem como, investir em treinamento e uso de novas tecnologias para o controle da produção e pesquisas para incorporação de resíduos sólidos da matriz energética na massa para produção dos tijolos.

As medidas mitigadoras mencionadas contribuem com os objetivos de desenvolvimento sustentável em relação à vida terrestre, que implica em proteger, restaurar e promover o uso

sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade. Além disso, visa promover uma indústria com infraestruturas resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação sendo capaz de promover e sustentar o desenvolvimento econômico, garantindo emprego pleno e trabalho decente para todos.

A partir dos dados discutidos acima, os quais podem ser considerados como um inventário do ciclo de vida do processo produtivo, foi possível fazer uma análise do processo produtivo por meio do ACV simplificada. Uma ACV, conforme as normas ABNT, exige uma equipe multidisciplinar, possui custo elevado e leva tempo, motivos estes que fazem com que médias e pequenas empresas não conseguem utilizar esta metodologia com recursos próprios, ficando de certa forma algo exclusivo para as grandes empresas (BARBIERI, 2016).

Para Barbieri, um estudo de ACV simplificado pode ser realizado com base nas normas ISO, com a redução e exclusão de elementos. Por exemplo, o ciclo do produto pode ser limitado ao estágio em que a empresa participa diretamente, os critérios de impactos podem ser direcionados apenas para os aspectos que a empresa pretende melhorar em seus processos, e as entradas e saídas do processo podem ser restritas a algumas categorias selecionadas."

Com o intuito de dirigir uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) simplificada, recorreremos à adaptação da matriz ERPA, cuja sigla representa "Avaliação de Produto Ambientalmente Responsável". Esta abordagem metodológica é fundamentada em uma matriz 5x5, na qual as linhas se referem às diferentes fases do ciclo de vida do produto, enquanto as colunas representam as variações ambientais pertinentes ao processo (BARBIERI, 2016).

Para fornecer maior clareza e soluções ao processo, é relevante mencionar que a Figura 12, denominada Matriz ERPA, desempenha um papel fundamental nesse contexto. Através dessa matriz, conseguimos realizar uma análise sistemática e abrangente do impacto ambiental do processo em questão ao longo de seu ciclo de vida. Isso ocorre ao considerar cuidadosamente uma ampla gama de fatores e preocupações ambientais específicas, o que nos permite avaliar de forma mais precisa e detalhada as questões relacionadas ao desempenho ambiental do produto.

ESTÁGIO DO CICLO DE VIDA	PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS				
	Escolha dos materiais (1)	Uso de energia (2)	Resíduos sólidos (3)	Resíduos líquidos (4)	Resíduos gasosos (5)
Extração de materiais (1)	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Manufatura do produto (2)	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
Embalagem e expedição (3)	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
Uso do produto (4)	4,1	4,2	3,4	4,4	4,5
Reciclagem e disposição final (5)	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5

Figura 12 Matriz ERPA
Fonte: Barbieri (2016, p. 129)

Com base nos resultados descritos anteriormente, foi realizada uma avaliação simplificada do ciclo de vida do processo de produção de artefatos cerâmicos. Esta avaliação foi realizada por meio da adaptação da matriz ERPA, conforme mencionado anteriormente. Para calcular os indicadores associados a cada etapa do ciclo de vida, foram levadas em conta considerações ambientais específicas relacionadas a cada fase do processo produtivo, abrangendo o processo do portão ao portão. Os resultados dessa análise estão apresentados na Figura 13.

ESTÁGIO DO CICLO DE VIDA	PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS				
	Escolha dos materiais (1)	Uso de energia (2)	Resíduos sólidos (3)	Resíduos líquidos (4)	Resíduos gasosos (5)
Aquisição de matéria-prima (1)	1,1 Utilização de recursos naturais (argila e água)	1,2 Aquisição de madeira de reflorestamento	1,3 Não há produção de resíduos sólidos nesta etapa do processo	1,4 Não há ocorrência de resíduos em estado líquido	1,5 Emissões na queima de combustível referente a acomodação dos insumos adquiridos
Preparação da argila (2)	2,1 Escolha do material adequado (com menor quantidade de quartzo)	2,2 Energia Elétrica	2,3 Impureza na argila	2,4 Não ocorre geração de resíduos em estado líquido.	2,5 Material particulado durante a moagem da argila (pó).
Extrusão e corte (3)	3,1 Equipamentos para extrusão e corte	3,2 Energia elétrica	3,3 Não ocorre geração de resíduos em estado sólido	3,4 Não ocorre geração de resíduos em estado líquido	3,5 Não ocorre geração de resíduos em estado gasoso.
Queima do Produto (4)	4,1 Utilização de madeira de reflorestamento	4,2 Madeira de reflorestamento	4,3 Cinzas	4,4 Não ocorre geração de resíduos em estado líquido	4,5 Emissão de gases de combustão e material particulado
Armazenagem e expedição(5)	5,1 Não há consumo de material	5,2 Não há	5,3 Produtos não conformes	5,4 Não ocorre geração de resíduos em estado líquido	5,5 Emissão de gases do combustível utilizado para o transporte

Figura 13 Identificação das preocupações ambientais
Fonte: Adaptado de Barbieri (2016).

A partir das preocupações ambientais evidenciadas na Figura 14 e nos resultados apresentados no decorrer das demais análises demonstradas durante as visitas e entrevista estimou-se os índices da relação preocupações ambientais x estágio do ciclo de vida, que correspondem ao fator de impacto de cada etapa do processo de produção estudado, demonstrado na Figura 14.

ESTÁGIO DO CICLO DE VIDA	PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS					Total	
	Escolha dos materiais (1)	Uso de energia (2)	Resíduos sólidos (3)	Resíduos líquidos (4)	Resíduos gasosos (5)		
Aquisição de matéria-prima (1)	2	3	4	4	2	15	
Preparação da argila (2)	0	3	4	4	3	14	
Extrusão e corte (3)	4	3	4	4	4	19	
Queima do Produto (4)	2	2	3	4	1	12	
Armazenagem e expedição(5)	4	4	3	4	3	18	
						TOTAL	78

Figura 14 - Resultado da avaliação das preocupações ambientais
Fonte: adaptado de Barbieri (2016)

A performance ambiental é classificada em relação a cinco categorias ambientais conforme demonstrado na tabela 1 em cinco estágios do ciclo de vida. A cada componente da matriz é conferida uma pontuação da performance ambiental, que varia de 0 a 4 considerando apenas valores inteiros (HUR, 2005; GREADEL; SAXTON, 2002).

Os valores atribuídos foram atribuídos conforme a percepção dos impactos e tamanho da empresa estudada. Barbieri (2016), diz que 0 representa um impacto ambiental de maior amplitude enquanto o 4 está relacionado ao impacto insignificante. Os valores intermediários representam índices medianos onde o 2 é o valor médio e 1 e 3 correspondem ao critério de superior e inferior à média, respectivamente. Importante destacar que conforme o autor o método ERPA possibilita que os membros da própria equipe possam definir os pesos em comum acordo entre eles.

Considerou-se os aspectos gerais do modelo original. Assim, tem-se que o valor total da matriz ERPA está numa escala de 0 a 100, onde a matriz é representada por 25 células, de forma que a responsabilidade ambiental total (RTA) é dada pelo somatório dos valores conferidos a cada célula. Desta forma, quando o RTA se aproxima de 0 há um maior impacto ambiental total do ciclo; quanto mais se aproxima de 100, menor é o impacto total (BARBIERI, 2016).

Sendo assim, o resultado final da performance ambiental do processo de produção dos artefatos cerâmicos apresentado na tabela 2 é de 78, pode-se dizer que considerando o estágio interno quanto aos impactos ambientais. Os principais fatores geração de degradação ambiental estão relacionados ao estágio de aquisição de matéria-prima, preparação da argila e queima.

Este grau de responsabilidade corrobora com o potencial poluidor/ degradador da Resolução CONEMA 04/2006 para indústrias de fabricação de artigos de barro cozido e de material cerâmico conforme figura 15.

Quadro 8 – Potencial Poluidor/ Degradador

ATIVIDADES/ EMPREENDIMENTOS	POTENCIAL POLUIDOR/ DEGRADADOR			
	Ar	Água	Solo e/ou Subsolo	Geral
- Fabricação de Artigos de Barro Cozido e de Material Cerâmico				
Fabricação de artigos de barro cozido (inclusive material cerâmico). Fabricação de manilhas, tijolos, vasilhames, e outros artigo de barro cozido (inclusive material cerâmico), alvenaria e louças.	G	M	P	M
Fabricação de artigos de grês e de material cerâmico refratário (exclusive de barro cozido). Fabricação de telhas, tijolos, ladrilhos, mosaico, pastilhas, manilhas, tubos, conexões e outros artigos de grês e de materiais cerâmicos refratários (exclusive de barro cozido). Fabricação de azulejos, material sanitário, calhas, cantos, rodapés e outros artefatos de louça, porcelana, faiança e cerâmica artística não especificados ou não classificados.	M	M	P	M

Figura 15 - Potencial Poluidor/ Degradador
Fonte: Resolução CONEMA/2006

As Figuras 16, 17 e 18 apresentam os critérios para classificação de P (pequeno), M (médio), G (grande) conforme o CONEMA 04/2006, quanto ao ar, água e solo e/ou subsolo, respectivamente:

P - Utilização de gás natural como combustível ou sem a geração de poluentes atmosféricos, sem poluição sonora e sem geração de radiação eletromagnética.
M - Poluição sonora, com ou sem a utilização de gás natural como combustível, ou emissão de odores ou emissões esporádicas de material particulado, geração de radiação eletromagnética não-ionizante.
G - Emissões de material particulado, com ou sem poluição sonora, ou queima de hidrocarbonetos, lenha, carvão vegetal ou mineral, casca de coco, casca de castanha, bagaço de cana ou similares, ou emissões evaporativas de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), PAHs (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) ou TPHs (hidrocarbonetos totais de petróleo), possibilidade de geração de emissão eletromagnética ionizante.

Figura - 16 Ar

Fonte: adaptado da Resolução CONEMA/2006

P - Sem geração de efluentes líquidos ou com geração de apenas esgotos sanitários.
M - Geração de esgotos sanitários e de efluentes industriais, sem óleos e graxas, sem as substâncias presentes na Tabela X do Art. 34 da Resolução CONAMA n° 357/05, alterada pela Resolução CONAMA n° 430/2011, moderado potencial de eutrofização, ou moderada interferência física no corpo d'água ou moderado risco de impacto na água, em caso de acidentes com vazamento de efluentes líquidos e/ou resíduos sólidos para corpos d'água.
G - Geração de efluentes industriais com óleos e graxas e/ou com as substâncias presentes na Tabela X do Art. 34 da Resolução CONAMA n° 357/05, alterada pela Resolução CONAMA n° 430/2011, ou, ainda, com a presença de agrotóxicos ou efluentes de estabelecimentos de saúde, grande potencial de eutrofização, ou grande interferência física no corpo d'água ou grande risco de impacto na água, em caso de acidentes com vazamento de efluentes líquidos e/ou resíduos sólidos para corpos d'água.

Figura - 17 Água

Fonte: adaptado da Resolução CONEMA/2006

P - Apenas geração de resíduos inertes, domésticos, de escritório. Pouca movimentação de terra e pouca retirada de vegetação. Pouco risco de interferência no meio antrópico do entorno do empreendimento ou atividade.
M - Geração de resíduos não perigosos e não inertes, moderada movimentação de terra e de retirada de vegetação, moderado risco de interferência no meio antrópico do entorno do empreendimento ou atividade, moderada salinização do solo ou moderado processo erosivo.
G - Geração de resíduos perigosos, incluindo resíduos de serviços de saúde, grande movimentação de terra e de retirada de vegetação, grande risco de interferência no meio antrópico do entorno do empreendimento ou atividade, grande salinização do solo ou grande processo erosivo

Figura 18 Solo e/ou Subsolo

Fonte: adaptado da Resolução CONEMA/2006

Os principais estágios do ciclo de vida poluidores verificados na AVC simplificada pelo método ERPA é em relação ao estágio da queima e da matéria-prima (argila), ambos apresentam potencial poluidor M conforme nas figuras acima 17 e 18, respectivamente, corroborando também para um impacto mediano dos processos internos da empresa estudada.

6 CONCLUSÕES

Em resumo, uma análise abrangente do processo produtivo destaca a necessidade de abordar os resíduos sólidos de maneira proativa e sustentável. Os impactos ambientais decorrentes da geração de resíduos são inegáveis, ressaltando a importância da implementação de medidas que não apenas atendam a conformidade da lei, mas também favoreçam práticas sustentáveis de forma geral.

A empresa já utiliza práticas sustentáveis em relação à sua matriz energética. O uso de lenha proveniente de reflorestamento não apenas ratifica seu compromisso com a responsabilidade ambiental, mas também corrobora com a utilização consciente dos recursos naturais. Ainda mais relevante é o papel desempenhado pelo tipo de forno empregado, que permite um maior aproveitamento dessa matriz energética. A combinação desses esforços contribui para uma abordagem eficaz e benéfica em termos ambientais. O aproveitamento do calor residual advindo do resfriamento do forno para a secagem dos produtos úmidos apresenta um pensamento habilidoso e sustentável. Essa prática não só otimiza os recursos, mas também ressalta a capacidade da empresa em transformar processos de resfriamento em uma oportunidade de aumentar a eficiência.

Mediante o levantamento das informações por meio das visitas *in loco* foram identificados os aspectos ambientais decorrente da atividade e seus possíveis impactos que envolvem a matéria-prima, água, a matriz energética e os resíduos sólidos. Foi oportuno utilizar uma ACV simplificada através do método ERPA para melhor visualização dos aspectos que envolvem as atividades internas, ou seja, do portão ao portão. De modo geral, percebe-se que indústria de artefatos cerâmicos se encaixa em um padrão mediano em relação a sua responsabilidade ambiental, informações estas que também puderam ser visualizadas na resolução CONEMA 04/2006.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 8.419: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. 7p. Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 1992.

ABRELPE, Associação Brasileira De Empresas De Limpeza Pública E Resíduos Especiais (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020/2021**. São Paulo: ABRELPE, 2021.

ANFACER – **Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para revestimentos louças sanitárias e congêneres**. A Origem da Cerâmica. 2016.

ANICER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Cerâmica no Brasil: Índios da Ilha de Marajó**. Rio de Janeiro, 2016b.

ANTENOR, S.; SZIGETHY, L. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. Centro de pesquisa em ciência, tecnologia e sociedade. IPEA, 2020.

ARLINDO JÚNIOR, P.; SAMPAIO, Carlos Alberto C.; FERNANDES, Valdir. **Gestão Empresarial e Sustentabilidade**. Barueri-SP: Editora Manole, 2017. E-book. ISBN 9788520439135. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520439135/>. Acesso em: 04 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABCERAM). **Informações técnicas - definição e classificação**. 2021. Disponível em: <https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>. Acesso em: 27 de Fev de 2023.

BARBIERI, José C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. São Paulo-SP: Editora Saraiva, 2016. E-book. ISBN 9788547208226. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788547208226/>. Acesso em: 01 nov. 2023.

BARBIERI, José Carlos. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, Modelos e Instrumentos**. São Paulo: Saraiva, 2011.

BIFF, Sergio e Silva, Manoel Ribeiro da. **Uso do resíduo sólido proveniente do processo de beneficiamento de areia na indústria de revestimentos cerâmicos e sua influência nas propriedades físicas dos produtos cerâmicos**. *Matéria (Rio de Janeiro)* 2016, v. 21, n. 04.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 27 de Fev de 2023.

CAMARA, V. F. *et al.* **Levantamento das emissões atmosféricas da indústria da cerâmica vermelha no sul do estado de Santa Catarina**, Brasil. *Cerâmica* [online]. 2015, v. 61, n. 358

CERVANTES, Dolores Elizabeth Turcott, Elvira Olay Romero, María del Consuelo Hernández Berriel, Ana López Martínez, María del Consuelo Mañón Salas, Amaya Lobo, **Assessment of some governance aspects in waste management systems: A case study in Mexican**

municipalities, *Journal of Cleaner Production*, Volume 278, 2021, 123320, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123320>.

CETESB. Guia Técnico Ambiental Da Indústria De Cerâmica Branca E De Revestimento - SÉRIE P+L. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2008.

DA SILVA, Leo Jaymee de Vilas Boas, Ivan Felipe Silva dos Santos, Johnson Herlich Roslee Mensah, Andriani Tavares Tenório Gonçalves, Regina Mambeli Barros, **Incineration of municipal solid waste in Brazil: An analysis of the economically viable energy potential**, *Renewable Energy*, Volume 149, 2020, Pages 1386-1394, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.134>.

DE ARAÚJO, Geraldo José Ferraresi. **O coprocessamento na indústria de cimento: definição, oportunidades e vantagem competitiva.** *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 8, n. 57, p. 52-61, 2020.

DIAS, Pablo, Arthur Machado, Nazmul Huda, Andréa Moura Bernardes, **Waste electric and electronic equipment (WEEE) management: A study on the Brazilian recycling routes**, *Journal of Cleaner Production*, Volume 174, 2018, Pages 7-16, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.219>.

DING, Lingkan; CHEN, Yan; XU, Yongping; HU, Bo. **Improving treatment capacity and process stability via a two-stage anaerobic digestion of food waste combining solid-state acidogenesis and leachate methanogenesis/recirculation.** St. Paul: Elsevier Ltd, 2021.

DINIZ GUERI, M. V., Nagel Schirmer, W., Gonçalves Torres, L. M. Furtado, A. C. **Pré-tratamentos de resíduos lignocelulósicos visando ao aumento da geração de metano nos processos de digestão anaeróbia: uma revisão.** *Revista Geama*, 7(3), 13–27. 2021.

GÖKHAN, Ş. E. N.; ÇELİK, Mehmet Yunus; ULUSOY, Tolga. A New Financing Model for Carbon Emission Reduction Projects: The Use of Carbon Emission Reduction Purchase Agreements (ERPA) in the Private Pension System. **Alinteri Journal of Agriculture Science**, v. 34, n. 2, p. 111-120, 2019.

GUIRRA, Alesson Pires Maciel. **Novas contribuições ao modelo de fragilidade ambiental e processos erosivos: estudo de caso aplicado ao perímetro urbano de Rondonópolis, Mato Grosso.** 2017. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis.

JARDIM, Arnaldo; YOSHIDA, Consuelo; FILHO, José Valverde M. **Política Nacional. Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos.** Barueri-SP: Editora Manole, 2012. E-book. ISBN 9788520444801. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520444801/>. Acesso em: 01 nov. 2023.

JUGENDE, Daniel; BEZERRA, Bárbara S.; SOUZA, Ricardo Gabbay de. **Circular de Economia: Uma rota para a sustentabilidade.** São Paulo-SP: Grupo Almedina (Portugal), 2022. E-book. ISBN 9786587019499. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786587019499/>. Acesso em: 01 nov. 2023.

JUNIOR, Ademir Mazer. Análise qualitativa de ferramentas computacionais no apoio do desenvolvimento de produtos sustentáveis. **Latin American Journal of Business Management**, v. 2, n. 2, 2011.

KAZA, S., YAO, L., BHADA-TATA, P., VAN WOERDEN, F. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. The World Bank, Washington DC. 2018.

KENG, Z. X.; CHONG, S.; NG, C. G.; RIDZUAN, N. I.; HANSON, S.; PAN, G.-T.; LAU, P. L.; SUPRAMANIAM, C. V.; SINGH, A.; CHIN, C. F.; LAM, H. L. **Community-scale composting for food waste: A life-cycle assessment-supported case study**. Journal of Cleaner Production, v. 261, 2020.

LIMA, J. P. R.; SPINDOLA, F. D. **Os desafios do setor ceramista em Pernambuco**. In: LIMA, J. P. R.; SPINDOLA, F. D.; HOLANDA, R. M.; MORAIS, M. M.; PAZ, Y. M. (orgs.). **Demandas do setor ceramista e argumentos para implantação de APLs em Pernambuco**. Recife: editora universitária, 2014. p. 11-43.

MILANEZ, Andressa. **Estudo dos impactos ambientais em fábrica de blocos cerâmicos na cidade de Prudentópolis-PR com base na avaliação do ciclo de vida**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/14325>

MORAES, Bruna de Souza, Reynaldo Palacios-Bereche, Gilberto Martins, Silvia Azucena Nebra, Lucas Tadeu Fuess, Ariovaldo José Silva, Wedja da Silva Clementino, Sergio Valdir Bajay, Paulo Cesar Manduca, Rubens Augusto Lamparelli, Mauro Donizeti Berni, Chapter 7 - **Biogas production: Technologies and applications**, Biofuels and Biorefining, Elsevier, 2022.

MORAIS, Carlos Alberto Silvestre; FIORE, Fabiana Alves; ESPOSITO, Elisa. **Influência do uso de inóculo aclimatado em processo de compostagem**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 27, p. 499510, 2022.

PIMENTEL, Cristine Helena Limeira *et al.* **A gestão das rotas tecnológicas de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa/PB/Management of technological routes for treatment and final destination of urban solid waste in the municipality of João Pessoa/PB**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 2, p. 7063 7088, 2020.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca B.; CRIVELARO, Marcos. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. São Paulo-SP: Editora Saraiva, 2020. E-book. ISBN 9788536532769. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536532769/>. Acesso em: 31 jul. 2023.

PINTO, Willian Leandro Henrique *et al.* **Gestão municipal de resíduos sólidos e proposta de indicadores de sustentabilidade**. Brazilian Applied Science Review, v. 4, n. 1, p. 70111, 2020.

POSSA, S. A.; ANTUNES, E. G. P. **Proposta de reutilização do resíduo de cerâmica vermelha proveniente da construção civil e demolições no município de Criciúma, SC**. Tecnologia e Ambiente, [s.l.], v. 22, p.147-161, 1 dez. 2016. Fundação Educacional de Criciúma- FUCRI. <http://dx.doi.org/10.18616/ta.v21i0.2968>.

SANTIAGO, Cristine Diniz. **Governança da gestão de resíduos sólidos brasileira: caminhos para a efetivação da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2021.

SANTOS, R. E. DOS.; SANTOS, I. F. S. DOS.; BARROS, R. M.; BERNAL, A. P.; FILHO, G. L. T.; SILVA, F. DAS. G. B. DA. **Generating electrical energy through urban solid waste in Brazil: Aneconomic and energy comparative analysis**. Journal of Environmental Management, n. 231, p. 198–206, jan./jun. 2019.

SILVA, Zilda Conceição da. **Coprocessamento de resíduos industriais em fornos de clínquer: uma revisão sistemática de literatura.** 2021.

SRISOWMEYA, G.; CHAKRAVARTHY, M.; DEVI, G. N. **Critical considerations in twostage anaerobic digestion of food waste** – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.L.], v. 119, p. 109587, 2020.

HUR, Tak; LEE, Jiyong; RYU, Jiyeon; KWON, Eunsun. Simplified LCA and matrix methods in identifying the environmental aspects of a product system. **Journal of Environmental Management**. V75. Pág 227-237. 2005.

VIEIRA, C. M. F.; CARVALHO, J. P. R. G. **Recycling of Granite Waste from Sawing Operation in Clay Brick for Civil Construction.** *Journal of Solid Waste Technology & Management*, v. 42, n. 1, 2016.

ZACCARON, A. *et al.* **Adição de chamote na massa de cerâmica vermelha como valorização de resíduo na fabricação de blocos de vedação:** estudo em escala laboratorial. *Revista de Engenharia e Construção Civil*, Curitiba, v. 3, n. 1, p.1-16 2016.