



Universidade Federal da Paraíba
Centro de tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica
- Mestrado - Doutorado

**ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS E ENERGIA
PARA UM PROCESSO PRODUTIVO DE
PORCELANATO COM CONTABILIDADE DE GASES
DE EFEITO ESTUFA**

por

Alexandre Magno Vieira Gonçalves de Brito

*Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba para obtenção
do grau de Mestre.*

João Pessoa – Paraíba

Agosto, 2022

ALEXANDRE MAGNO VIEIRA GONÇALVES DE BRITO

**ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS E ENERGIA
PARA UM PROCESSO PRODUTIVO DE
PORCELANATO COM CONTABILIDADE DE GASES
DE EFEITO ESTUFA**

Dissertação apresentada ao curso de
Pós-Graduação em engenharia mecânica
da Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para
obtenção do Grau de Mestre.

Orientadora: Professora Monica Carvalho, PhD.

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B862a Alexandre Magno Vieira Gonçalves de Brito.

Análise de fluxo de materiais e energia para um processo produtivo de porcelanato com contabilidade de gases de efeito estufa / Alexandre Magno Vieira Gonçalves de Brito. - João Pessoa, 2022.
50 f. : il.

Orientação: Monica Carvalho.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Cerâmica - Indústria. 2. Avaliação do Ciclo de Vida - Metodologia. 3. Pegada de carbono. 4. Termodinâmica. 5. AFME. I. Carvalho, Monica. II. Título.

UFPB/BC

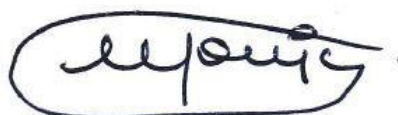
CDU 666.3/.7(043)

ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS E ENERGIA PARA UM PROCESSO PRODUTIVO DE PORCELANATO COM CONTABILIDADE DE GASES DE EFEITO ESTUFA

por

ALEXANDRE MAGNO VIEIRA GONCALVES DE BRITO

Dissertação aprovada em 30 de agosto de 2022



Profa. Dra. MONICA CARVALHO

Orientadora – UFPB



Prof. Dr. RAPHAEL ABRAHAO

Examinador Interno - UFPB



Prof. Dr. ADRIANO DA SILVA MARQUES

Examinador Externo – UFPB



Prof. Dr. DANIEL DA COSTA REIS

Examinador Externo – USP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe, Maria do Socorro Vieira Pereira, por ser sempre corajosa e nunca desistir de buscar o melhor para seus filhos, nunca se desanimando pelas dificuldades impostas pela vida.

Dedico a minha esposa e meu filho por representarem o que há de melhor e por sempre me apoiar e acreditar nos objetivos.

Dedico a todos meus colegas de graduação e pós-graduação pelo companheirismo e toda a equipe de professores do PPGEM por disseminar o conteúdo com muito exímio. Em especial a minha orientadora Profa. Dra. Monica Carvalho por todo aprendizado, ensinamento, acolhimento e principalmente pela paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre ter me abençoado e me concedido paz, saúde, momentos especiais ao lado da minha família e grandes oportunidades profissionais. Gostaria de agradecer a todo apoio recebido pela minha família nessa jornada de dois anos, por sempre me levantarem em momentos difíceis e por serem sempre meu porto seguro.

Agradeço também ao corpo docente do programa de pós-graduação de engenharia mecânica (PPGEM), por contribuírem neste desafio ajudando na minha formação e agregando conhecimento e novos valores. Agradeço especialmente a Professora Monica Carvalho por sempre estar ao meu lado desde a graduação e me ajudando desde então. Não há laudas o suficiente para demonstrar o quão sou grato por tudo que você me fez e saiba que nunca esquecerei. Tentarei retribuir sempre que for preciso, pois reconheço tudo o que fizestes por mim.

Agradeço a minha esposa Tassyanne Cabral e ao meu filho Alexandre Filho, que são a minha base de vida. Hoje me sinto completo por ter essa família maravilhosa, sou seguro de mim pois sei que sou sustentado pelos pilares mais fortes que existem

Agradeço a minha família, em especial a minha mãe a qual sempre fez questão de deixar claro que o futuro está nos estudos, e que nunca pensou duas vezes antes de me ajudar com qualquer pedido. A minha irmã pelas palavras de motivação e pelos conselhos sábios que ela aprendeu com a vida. Ao meu irmão, meu ídolo e inspiração, que nunca deixou de acreditar em mim, e que no momento mais difícil que passei na vida, ele esteve lá por mim e garantiu que eu contasse com ele com qualquer coisa,

Agradeço aos grandes amigos formados na minha vida, os que ficaram desde o colégio e os novos formados na faculdade, sem a ajuda de muitos não conseguiria ter terminado, os momentos de estudo em grupo foram fundamentais, assim como os de descontração.

ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS E ENERGIA PARA UM PROCESSO PRODUTIVO DE PORCELANATO COM CONTABILIDADE DE GASES DE EFEITO ESTUFA

RESUMO

O meio ambiente e o desenvolvimento sustentável atualmente são vistos como oportunidades, como possibilidades de crescimento e melhoria de eficiência. Desta forma, ainda é possível estabelecer um crescimento sustentável nas empresas brasileiras através da implementação de políticas públicas e criação de conscientização em empreendedores e em sociedade. O objetivo deste estudo é mensurar o impacto ambiental associado a uma linha de produção de porcelanato. A aplicação da Análise de Fluxo de Material e Energia (AFME) fornece o quantitativo de matéria-prima e fluxos energéticos do processo produtivo cerâmico. A linha de produção inclui moagem, atomização, conformação, secagem, esmaltação, sinterização e acabamento. Todos os equipamentos operam com eletricidade, menos a atomização que utiliza coque de petróleo. A metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é aplicada para quantificar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas a esta linha de produção. A aplicação da AFME revelou o quantitativo total de perdas mensais na linha de produção em 1.186.600 kg, com um consumo total de 201.896 kWh de eletricidade e 29.754 kWh de coque de petróleo. Considerando os processos representativos associados ao consumo de eletricidade do mix elétrico brasileiro e ao consumo de coque de petróleo, as emissões de GEE obtidas são de 0,268 kg CO₂-eq/kWh e 0,558 kg CO₂-eq/kWh, respectivamente. Neste caso, as emissões de GEE associadas ao processo produtivo foram de 70.711 kg CO₂-eq, equivalentes a 70,71 kg CO₂-q/ t de porcelanato. Verificou-se que a introdução, mesmo que parcial, de energia solar fotovoltaica consegue reduzir a emissão de GEE em 9.027 kg CO₂-eq/mês a cada 20% de eletricidade substituída (consumindo-se de painéis fotovoltaicos em vez da rede elétrica).

Palavras-chave: Avaliação de Ciclo de Vida. AFME. Pegada de Carbono. Termodinâmica. Cerâmica.

MATERIAL AND ENERGY FLOW ANALYSIS FOR A PORCELAIN TILE PRODUCTION PROCESS WITH GREENHOUSE GAS ACCOUNTING

ABSTRACT

The environment and sustainable development are currently seen as opportunities, as possibilities for growth and efficiency improvement. In this way, it is still possible to establish sustainable growth in Brazilian companies by implementing policies and creating awareness among entrepreneurs and society. The objective of this study is to measure the environmental impact associated with a porcelain tile production line. Application of the Material and Energy Flow Analysis (MEFA) provides the raw materials and energy flows associated with the ceramic production process. The production line includes grinding, atomizing, forming, drying, enameling, sintering and finishing. All equipment consume electricity from the grid, except atomization that uses coke. The Life Cycle Assessment (LCA) methodology is applied to quantify the greenhouse gas (GHG) emissions associated with this production line. MEFA revealed that the monthly losses of the production line are 1,186,600 kg of material, with a consumption of 201.896 kWh electricity and 29.754 kWh coke. Considering the representative processes associated with the consumption of electricity from the Brazilian electric grid and coke, the GHG emissions are 0.268 kg CO₂-eq/kWh and 0.558 kg CO₂-eq/kWh, respectively. In this case, the monthly GHG emissions of the production process are 70,711 kg CO₂-eq, equivalent to 70.71 kg CO₂-q/ t porcelain tile. Even the partial introduction of solar photovoltaic electricity was beneficial to reduce GHG emissions, as 9,027 kg CO₂-eq/month can be avoided for every 20% electricity replaced (using photovoltaic panels instead of the electricity grid).

Keywords: Life Cycle Assessment. MEFA. Carbon Footprint. Thermodynamics. Ceramics.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
1.1.1 Objetivo Geral	4
1.1.2 Objetivos específicos	4
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	5
2.1 INDÚSTRIA CERÂMICA	5
2.1.1 Porcelanato	5
2.1.2 O Processo Produtivo Cerâmico	7
2.2 ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAL (AFM)	12
2.2.1 Análise de Fluxo de Material e Energia	14
2.3 OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 ESTUDO DE CASO E COLETA DE DADOS	22
3.2 ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAIS E ENERGIA	23
3.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 AFME	25
4.2 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....	27
5 CONCLUSÃO.....	32
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
7 APÊNDICE A	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Maiores produtores mundiais de revestimentos cerâmicos.....	2
Figura 2.1 – Processo produtivo de material cerâmico	7
Figura 2.2 – Ciclo de queima do forno	11
Figura 2.3 – Fases da ACV	13
Figura 2.4 – Representação de uma Análise de Fluxo de Material	15
Figura 2.5 – Representação de uma Análise de Fluxo de Material e Energia	21
Figura 2.6 – Avaliação do impacto ambiental, correlacionando as categorias midpoint e endpoint	26
Figura 4.1 – Fluxo de materiais e energia ao longo do processo produtivo mensal de Porcelanato	26
Figura 4.2 – Emissões de gases de efeito estufa associadas às diferentes etapas do processo produtivo de porcelanato	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tipos de materiais cerâmicos e suas características	6
Tabela 2.2 – Tipos de moagem.....	8
Tabela 2.3 – Tipos de conformação	9
Tabela 2.4 – Objetivos do desenvolvimento sustentável 12 no Mundo e no Brasil.....	17
Tabela 3.1 – Formatos e capacidade das linhas de produção	22
Tabela 4.1 – Emissões de gases de efeito estufa para fornecimento de energia elétrica com diferentes participações da energia fotovoltaica na linha de produção de porcelanato	29

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Questionário a respeito do processo produtivo de porcelanato	40
--	----

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

Em 2020 surgiu a pandemia, um cenário atípico em todo o mundo, causado pela Doença COVID-19, enfermidade altamente contagiosa, e que já ocasionou mais de 650.000 mortes no Brasil (BRASIL, 2022). Apesar de toda dificuldade enfrentada, a construção civil neste mesmo ano, foi o setor que mais gerou novas vagas com carteira assinada no Brasil, totalizando mais de 110.000 novos postos de trabalhos formais no setor (CADASTRO GERAL DE EMPREGADOS E DESEMPREGADOS, 2021). Assim, é perceptível que este segmento no Brasil é próspero e continua a proporcionar oportunidades de emprego mesmo em épocas tão conturbadas.

Os produtos da indústria civil, sejam eles convencionais ou então desenvolvidos através de técnicas e materiais alternativos, precisam ser avaliados pela ótica da sustentabilidade, para que não sejam os vetores de diversos impactos e os principais responsáveis pela geração de resíduos (SAMPAIO *et al.*, 2020). A construção civil é um dos empreendimentos que mais consomem recursos naturais e é necessário que haja verificação e controle sobre esses recursos a fim de mitigar os impactos causados ao meio ambiente.

Como as indústrias associadas a construção civil geralmente são de grande porte e a linha de produção para a fabricação deste material ser de um tamanho considerável, vai ser necessário uma elevada quantidade de energia para alimentar todo o equipamento envolvido neste processo, além de requerer uma grande quantidade de matéria-prima para a fabricação em larga escala. O setor consome globalmente cerca de 14% a 50% da matéria-prima extraída da natureza, 16% dos recursos hídricos, 40% de toda fonte de energia, gera de 40% a 70% dos resíduos sólidos e cerca de 10% das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, já que é responsável pelas atividades ligadas desde a extração de matéria prima até a descarte

dos resíduos, incluindo todos os reparos e manutenções necessários durante a vida útil das construções (MEDEIROS *et al.*, 2018).

Em procura de evitar os danos ao meio ambiente provocados pela construção civil, um paradigma da construção foi criado em prol do ecossistema. Em países em desenvolvimento como o Brasil a construção sustentável é definida como “[...] um processo holístico que aspira a restauração e manutenção da harmonia entre os ambientes natural e construído, e a criação de assentamentos que afirmem a dignidade humana e encorajem a equidade econômica [...]” (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016).

O Brasil é hoje um dos grandes produtores mundiais do revestimento cerâmico ocupando a terceira posição mundial assim como um dos maiores consumidores mundiais de revestimentos cerâmicos. Ademais, a indústria cerâmica brasileira tem grande importância para o país, estimando sua participação no PIB (Produto Interno Bruto) da ordem de 1,0% (NASCIMENTO, 2015; BESSA 2021). A Figura 1.1 mostra os países que mais produzem revestimento cerâmico no mundo, é importante salientar que o Brasil é o único país de todas as Américas que se encontra entre os maiores deste tipo de produto.

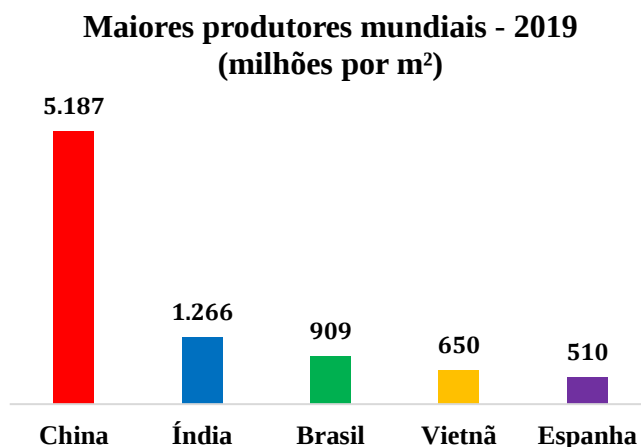


Figura 1.1 - Maiores produtores mundiais de revestimentos cerâmicos.
Fonte: Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica, revestimento, louças e congêneres (2021).

A cada dia a qualidade e a variedade desse material aumentam, na mesma medida, cresce a utilização da cerâmica no Brasil para revestir pisos e paredes de todos os espaços internos da casa, assim como espaços externos (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA, REVESTIMENTO, LOUÇAS E CONGÊNERES-

ANFACER, 2021), ou seja, é um material prospero e bastante viável para a produção no Brasil de modo que os recursos naturais para fabricar esse produto se encontram nos próprios solos brasileiros.

A produção de cerâmica é um ramo versátil, pois existe uma vasta quantidade de produtos que são criados a partir do modo de produção desejado, por exemplo: Cerâmica Estrutural; Revestimentos; Sanitários; Louça de Mesa e Adorno; Fritas, Vidrados e Corantes, entre outros. Da mesma forma, no Brasil, a produção é concentrada em algumas regiões. As regiões Sul e Sudeste são concentradas as maiores empresas brasileiras de cerâmica, porém o Nordeste também está forte neste mercado e próximo de se tornar um polo produtivo, devido às condições favoráveis dos recursos naturais, energia viável, mercado em desenvolvimento e uma boa localização para exportação (ANFACER, 2021).

Portanto, o Brasil é um país próspero para a produção de cerâmicas, além do alto nível de qualidade do produto, possui em suas terras, boa infraestrutura, recursos necessários para produzir e exportar para os demais países.

Para realizar análises em produtos e serviços, há uma metodologia bastante difundida a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O objetivo da ACV é analisar e comparar produtos e serviços de forma holística, a partir do ponto de vista ambiental (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2014a). Além de facilitar a identificação de processos ou fases operacionais em que os impactos ambientais sejam mais severos, sendo uma excelente ferramenta para auxiliar tomadas de decisões de empresas e partes interessadas (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA - IBICT, 2019).

A Análise de Fluxo de Materiais e Energia (AFME, do inglês MEFA *Material and Energy Flow Analysis*), é um método analítico para quantificar os fluxos e estoques de materiais e energia em um sistema bem definido. AFME é uma ferramenta importante para avaliar as consequências físicas das atividades humanas e as necessidades no campo da Ecologia Industrial. Exemplos de contabilidade de fluxos de materiais incluem sua aplicação dentro certas indústrias conectadas num ecossistema, a determinação de indicadores de uso de materiais por diferentes sociedades, e o desenvolvimento de estratégias para melhorar os sistemas de fluxo de materiais na forma de gestão do fluxo de materiais (KRAUSMANN *et al.*, 2017).

A AFME pode ser utilizada para planejamento estratégico de organizações e indústrias, para selecionar indicadores e técnicas de medição de impactos ambientais mais

eficientes, e auxiliar no marketing, por exemplo, de uma decisão política de grande impacto, ou seja, a ferramenta é importante e pode ser utilizada de várias maneiras.

A justificativa deste trabalho é mostrar aos empresários da construção civil que é possível produzir reduzindo a agressão ao meio ambiente, e mostrar também aos consumidores a oportunidade de escolherem o produto não mais apenas só pelo preço e sim pelo impacto ambiental que aquele produto gerou. Atender à crescente demanda mundial por bens de capital e de consumo de forma sustentável é sem dúvida, um dos maiores desafios enfrentados pela sociedade atual. Sob a perspectiva de que as organizações buscam desenvolver estratégias que lhes permitam avançar para uma maior valorização dos produtos e serviços prestados aos seus clientes (REQUEIJO *et al.*, 2018). Sabendo que o consumo de insumos, energia e resíduos são bem elevados na indústria cerâmica, com isso surgem oportunidades para pesquisadores e empresários apresentarem melhorias para solucionar essas problemáticas, divulgando cada vez mais a conscientização ambiental, visto que a imagem de quem atua a favor do ecossistema é totalmente positiva, e se utilizado o marketing de forma correta, o consumo dos clientes com essas marcas só irão aumentar.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é quantificar os fluxos de matéria e energia de uma linha de produção de porcelanato, e mensurar o impacto ambiental associado ao processo produtivo.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Realizar uma revisão de literatura sobre AFME desenvolvidas para a indústria de porcelanato cerâmico no Brasil;
- ✓ Adquirir o quantitativo de matéria-prima e fluxo energético do processo produtivo de porcelanato, por intermédio da Análise de Fluxo de Material e Energia (AFME).
- ✓ Quantificar as emissões de GEE associadas ao mesmo processo produtivo, por meio da aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV);
- ✓ Realizar propostas de substituição energética para o processo produtivo e verificar o potencial de mitigação de mudanças climáticas associado.

CAPÍTULO II

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INDÚSTRIA CERÂMICA

Os revestimentos cerâmicos, além das vantagens e da durabilidade provada através dos séculos, possuem as qualidades que uma avançada tecnologia lhes confere, ademais, eles se mostram apropriados para pequenos detalhes, ambientes interiores ou para grandes escalas ao ar livre, outrossim, são oferecidos de maneira a satisfazer os mais variados gostos, como padronização e texturas diversas (ANFACER, 2021). Sabendo de todas estas qualidades da cerâmica e possuindo uma gama variedades de produtos, o crescimento da indústria cerâmica é sempre crescente, a alta demanda por imóveis é um exemplo do crescimento desse setor.

Apesar de ter recuperado as perdas do início da pandemia e adquirido um novo fôlego, a Construção Civil, em 2022 apresentará um resultado bem mais modesto. As primeiras estimativas da CBIC apontam que o segmento poderá apresentar expansão de 2% nesse ano, com o mercado de trabalho ainda demonstrando dinamismo (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2022).

A indústria da construção civil é a divisão que mais despende os recursos da natureza, logo haverá um enorme gasto de insumos. Portanto, a decisão por materiais que estejam envolvidos com a sustentabilidade e por consequência impactem menos ao ecossistema terrestre se torna uma diretriz preferencial na escolha da matéria prima.

2.1.1 Porcelanato

O setor cerâmico é vasto e diverso, o que leva a segmentação deste setor em diversos setores e cada um possuindo suas peculiaridades. As diversificações no ramo das cerâmicas são distintas por conta da diferença de matérias-primas, das propriedades e das áreas de

utilização. A tabela 2.1 mostra os tipos dos quais os materiais cerâmicos são compostos e seus atributos.

Tabela 2.1 – Tipos de materiais cerâmicos e suas características.

Classificação dos tipos cerâmicos	Qualidades diferenciais do produto	Exemplos
Cerâmica Vermelha	Material de coloração avermelhada empregados na construção civil.	Tijolos, blocos, telhas, tubos cerâmicos e argilas expandidas.
Materiais de Revestimento	São materiais para revestir paredes, pisos, bancadas, entre outros.	Porcelanato, azulejo, pastilha, grês, lajota e piso.
Cerâmica Branca	Materiais constituídos por um corpo branco e em geral recoberto por camada vítrea transparente.	Louça sanitária, louça de mesa, isoladores elétricos para alta e baixa tensão, cerâmica artística e cerâmica técnica.

Fonte: ANFACER (2017).

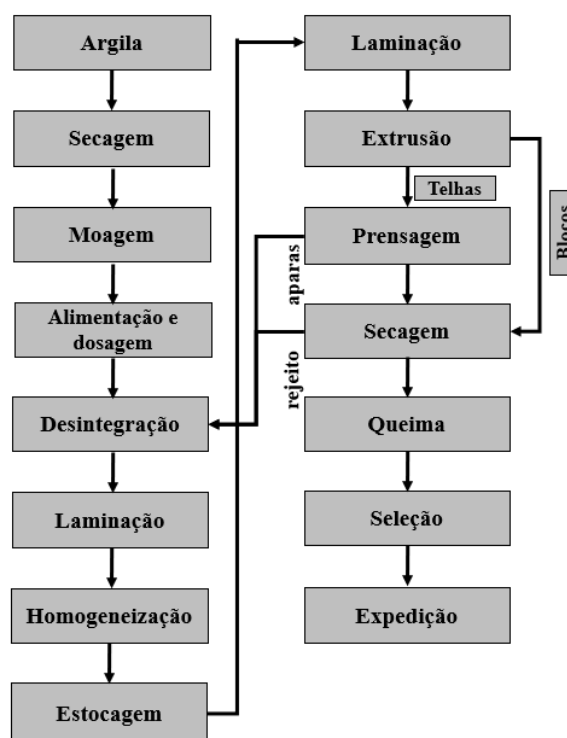
O desenvolvimento do porcelanato deu-se no início dos anos 1980, como um item destinado para locais de aplicações específicas. O produto manteve-se à margem do progresso industrial italiano até início dos anos 1990, quando, devido aos avanços tecnológicos, foi difundido para além da Itália (OLIVEIRA, 2018; SILVA, 2010).

As primeiras empresas brasileiras a produzir o Porcelanato para revestimento foram a Eliane S/A Revestimentos Cerâmicos em 1996 e a Portobello S/A em 2000. E em 2009 a produção de porcelanato já representava aproximadamente 7% da produção de revestimentos cerâmicos no Brasil (ANFACER, 2018).

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de revestimentos cerâmicos, posicionando-se entre as primeiras colocações em produção e consumo, sendo assim, o porcelanato brasileiro uma referência mundial em padrão de qualidade (ANFACER, 2018). Segundo o Centro Cerâmico do Brasil (CCB, 2018), entre 2003 e 2018, o Brasil multiplicou por quatro sua produção de revestimentos cerâmicos, material no qual o porcelanato está englobado, e hoje já é o segundo maior fabricante mundial desse produto, perdendo apenas para a China, e já superou concorrentes tradicionais como Espanha e Itália, que até alguns anos dominavam o setor.

O processo produtivo cerâmico é complexo e por isso necessita de profissionais capacitados e treinados corretamente para que a operação de todo o fluxo produtivo ocorra corretamente.

Na maioria dos casos, o processo produtivo de confecção de cerâmicas consiste nas fases de preparação da massa e matérias primas, atomização, conformação (prensagem), secagem, esmaltação, decoração, tratamento térmico, acabamento e seleção (figura 2.1).



Fonte: Baseado nos dados de Associação Brasileira de Cerâmica - ABCERAM (2017).

De acordo com a ABCERAM (2017), a maior parte das matérias-primas empregadas na indústria cerâmica tradicional é natural, ou seja, estão espalhadas por todo o planeta. As matérias-primas sintéticas na maioria das vezes são fornecidas prontas para uso, precisando somente, em alguns casos, de um ajuste granulometria.

A ABCERAM (2017) define a preparação de massa como a composição de um conjunto de matérias-primas, além de insumos e água ou outro meio. Segundo Oliveira (2006), a massa cerâmica é conduzida aos moinhos através de esteiras. Nos moinhos é feita a moagem, em conjunto com água, originando à barbotina. Essa redução da granulometria é utilizada para muitos objetivos, a saber, telhas, paredes, placas de revestimento, produtos refratários e louça de mesa. A moagem pode ser feita de duas maneiras, como mostrado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Tipos de moagem.

Tipos de Moagem	Etapas do processo produtivo	Vantagens
Via Seca	Lavra; moagem a seco; conformação; decoração e queima.	Menores custos energéticos, pois a secagem será feita por exposição da matéria-prima ao sol, assim, reduzindo o impacto ambiental.
Via Úmida	As matérias-primas são moídas e homogeneizadas em moinho de bola, em meio aquoso; A secagem e granulação de massa em “spray dryer” (atomizador).	Aquisição de massa mais homogênea e não há necessidade de espera para secagem da matéria prima.

Fonte: ANFACER (2017).

Para Oliveira (2006), especialmente no caso da cerâmica de revestimento por via úmida, antes da prensagem, a massa cerâmica, na forma de barbotina, passa pelo processo de atomização. Esta etapa de fabricação, direciona a barbotina através de tubulações até outro equipamento conhecido como atomizador, máquina com funcionalidade de secar a barbotina, que consiste em um cilindro, provido de bicos pulverizadores em sua área periférica interna, onde são borrifadas as gotas de barbotina. O spray da solução é misturado com um jato de ar

quente, com temperatura média de 700°C, adquirido normalmente por uma queima de gás natural ou coque de petróleo, convergindo em uma massa granulada parcialmente seca e que será levada para a prensagem.

O processo de prensagem fornece ao pó atomizado o seu formato geométrico desejado. A ABCERAM (2017) define quatro formas de conformação, que estão descritos na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Tipos de conformação

Tipo de Conformação	Descrição
Colagem ou Fundição	A barbotina ficará armazenada no molde de gesso, até ocorrer a absorção da água pelo gesso, enquanto isso as partículas sólidas formam a parede da peça.
Prensagem	Nesta operação utiliza-se, em regra, massas granuladas com baixo teor de umidade. Vários tipos de prensas podem ser utilizados, ficando a critério dos especialistas a tomada de decisão.
Extrusão	A massa plástica é colocada numa extrusora, onde é compactada e forçada por um pistão ou eixo helicoidal, através de bocal com determinado formato. Como resultado obtém-se uma coluna extrudada e em seguida, essa coluna é cortada, obtendo-se desse modo peças como tijolos vazados, blocos, tubos e outros produtos de formato regular.
Torneamento	O torneamento em geral é uma etapa posterior à extrusão, realizada em tornos mecânicos ou manuais, onde a peça adquire seu formato final.

Fonte: ANFACER (2017).

Para Oliveira (2006), a prensagem consiste na conformação de massas granuladas com pequeno teor de umidade a partir de uma prensa, sendo usada principalmente na produção de pisos e revestimentos, embora não se restrinja a esta aplicação.

Segundo a ABCERAM (2017), depois da fase de conformação, as peças continuam a conter água, proveniente ainda da preparação da massa. Para evitar tensões e, por conseguinte, defeitos nas peças, é necessário acabar com essa água, de forma lenta e gradual, em secadores intermitentes ou contínuos, a temperaturas entre 50°C e 150°C. De acordo com Oliveira (2006), a forma de evitar tensões e, conseqüentemente, deformidades nas peças

(como trincas, bolhas, empenos etc.) é imprescindível eliminar essa água de forma lenta e gradual até um teor suficientemente baixo, de 0,8% a 1,5% de umidade residual.

Muitos produtos cerâmicos ganham uma camada fina e contínua de um esmalte ou vidrado, que após a sinterização adquire a aparência vítrea (ABCERAM, 2017). Esta camada vítrea colabora para os aspectos estéticos, higiênicos e melhora de algumas propriedades como a mecânica e a elétrica.

Para Oliveira (2006), o processo de sinterização ocorre após à secagem e à esmaltação. A secagem tem o papel de diminuir a umidade, reduzindo o excesso de água na peça e as possíveis trincas motivadas pelo surgimento de bolhas de vapor. Assim, depois de reduzir o teor de umidade e receber a esmaltação no produto, as peças são direcionadas para os fornos, os quais são contínuos e intermitentes e serão postos a um tratamento térmico que irá variar entre 800°C e 1.700°C, a depender do produto específico. Uma de suas finalidades é atingir altas temperaturas, necessitando assim que o forno seja coberto com material especializado que não interfira e nem atrapalhe a qualidade da operação e nem a falta de segurança de quem esteja próximo operando outras funções em uma linha de produção de porcelanato, sabendo disso o indicado é que o revestimento dos fornos seja de materiais refratários para que as temperaturas atingidas alcancem acima de 1000°C (BRITO, 2017). A Figura 2.2 representa as etapas de queima em um forno, fenômenos vão ocorrendo durante todo o ciclo de queima de acordo com o aumento gradativo da temperatura.

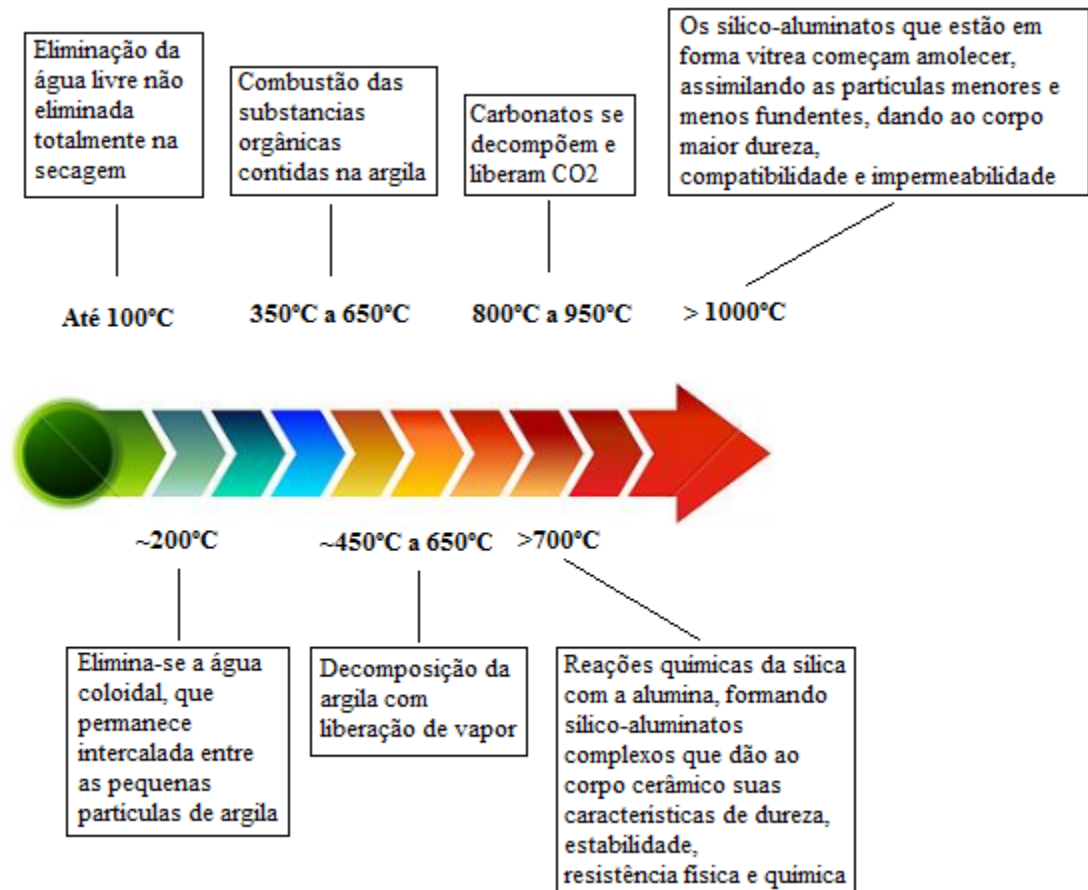


Figura 2.2 – Ciclo de Queima do forno
Fonte: Oliveira (2006).

Durante as etapas de queima mostradas na Figura 2.2, ocorrem modificações e transformações em função dos componentes da massa, como por exemplo: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, a partir da fase de transição vítrea, ocorre o surgimento da fase vítrea e a aglutinação dos grãos (ABCERAM, 2017). Logo, a depender do tratamento térmico e das características específicas das matérias-primas utilizadas, os produtos obtidos serão utilizados para fins diversos.

A maioria dos produtos cerâmicos, após o processo de queima, é inspecionada e estão próprias para venda e consequentemente o consumo. Entretanto, alguns materiais ainda passam por outros procedimentos para atender a algum requisito particular que não seria possível obter no processo produtivo comum (e.g., polimento, corte, furação, acabamento minucioso).

Ao deixarem o forno, as peças resfriadas e acabadas são classificadas e embaladas, finalizando o processo de fabricação. Por conseguinte, o controle de qualidade fabril pode

ser acionado para a inspeção visual no produto, encaminhando o produto para a expedição. Após a codificação do produto, este é embalado e liberado para a expedição.

2.2 ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAL (AFM)

A Análise de Fluxo de Material (AFM) é baseada em dois princípios científicos fundamentais e bem estabelecidos, aproximação de um sistema e balanço de massa. Embora esses princípios sejam aplicados amplamente em toda ciência e tecnologia, é a forma como são aplicadas ao metabolismo sócio-econômico que faz a AFM um método especial (Kowalski, 1998). Um sistema de AFM pode ser uma indústria de processos por completo ou apenas uma região a parte. A área escolhida será de acordo com o objeto de pesquisa. O sistema de Análise de Fluxo de Materiais é composto de: limites de sistema, processos, fluxos e estoque. É importante entender o significado de sistema já que possibilitará o armazenamento de informações quantitativas ou com atitudes dentro de possíveis processos ou como o fluxo entre processos.

Um dos principais motivos de selecionar a AFM é obter a perspectiva geral de elementos ou substâncias que participem do escopo do planejamento. A análise de fluxo de materiais é uma das metodologias centrais da ecologia industrial. É por meio da AFM que o “metabolismo da indústria” pode ser mapeado e quantificado, da mesma forma que um contador determina e quantifica depósito monetários ou saques bancários (GRAEDEL, 2019). Mantendo um levantamento para cada processo analisado, promoverá facilidade e permitirá obter uma percepção completa do projeto e dos recursos que serão produzidos, utilizados e até mesmo descartados.

A figura 2.3 demonstra um esquema de mapeamento restringindo o volume de controle, com entradas, saídas, processos e todas as informações importantes.

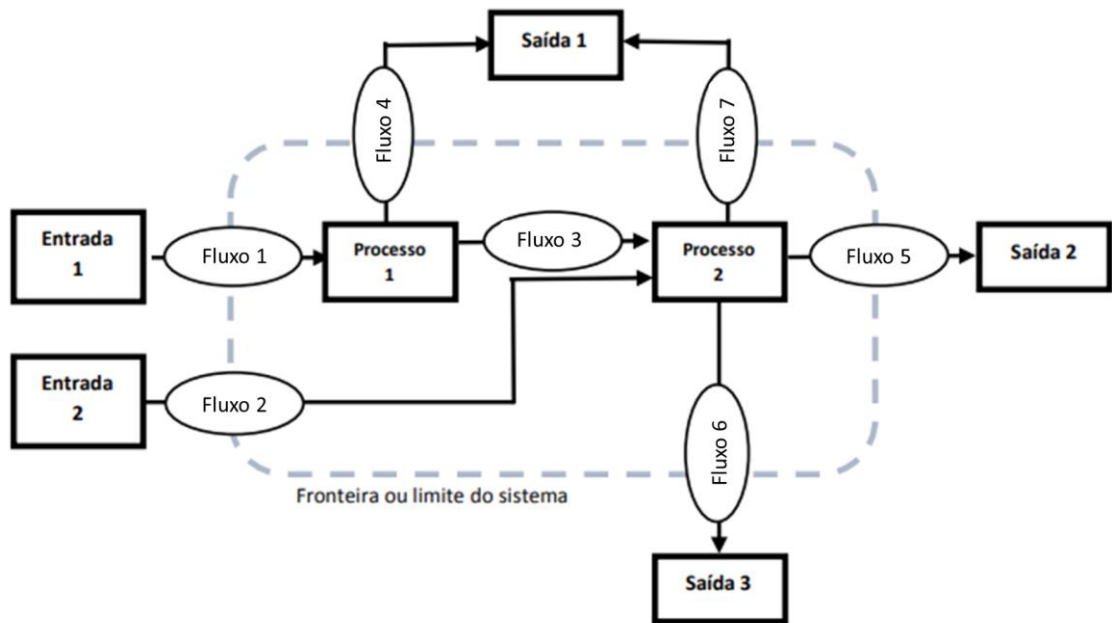


Figura 2.3 – Representação de uma Análise de Fluxo de Material.

Fonte: Manual Prático de Análise de fluxo de Materiais - Brunner; Rechberger (2004).

As indústrias, ou associações industriais, encontram as análises de AFM como ferramentas útil para medir o progresso relacionado à perda de material, reciclagem e outras estatísticas relevantes. Além disso, grandes corporações são conhecidas por criarem suas próprias AFMs permitindo utilizá-las para uma variedade de propósitos como avaliar a criticidade de materiais em suas cadeias de suprimento (GRAEDEL, 2019).

A AFM tornou-se uma das ferramentas básicas da ecologia industrial desde seu desenvolvimento (MORIGUCHI; HASHIMOTO, 2016). Políticas destinadas a mover a economia para a “circularidade” foram promovidas em alguns países, incluindo China e Japão, como manifestações práticas de o paradigma da ecologia industrial. Na China, a ligação à AFM só foi reconhecida alguns anos após a introdução da política, enquanto no Japão o AFM foi aceito desde o princípio. Estão a ser defendidas medidas, por exemplo, pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento econômico (OCDE), para melhorar a comparabilidade da AFM entre diferentes fontes de dados. A análise de entrada-saída é cada vez mais aplicada para estimar e representar fluxos de materiais. Em geral, a AFM amadureceu até o ponto em que agora é obrigatório como uma ferramenta para a política nacional e internacional. Mas espera-se mais expansão e integração (MORIGUCHI E HASHIMOTO, 2016). Portanto, é nítido que a AFM é necessária no meio industrial, não só para quantificar as entradas e saídas de matéria no processo, mas também para conscientizar

os empresários que é importante ter informações sobre o processo e que essa aplicação seja feita de maneira consciente e prejudique o mínimo possível o meio-ambiente.

A utilização da metodologia AFM para a tomada de decisões dependerá de alguns quesitos. Quando os AFM são realizados sob os auspícios de uma determinada entidade fabril ou indústria grupo, a implementação pode ser bastante direta e a adaptação do processo pode ocorrer rapidamente (KYTZIA *et al.*, 1996). Todavia o uso da ferramenta é uma etapa que necessita ser bem desenvolvida, caso contrário a tomada de decisões a nível regional, nacional e internacional será mais difícil devido (ALLEN, 2005; BINDER, 2007): (i) o número de partes interessadas envolvidas aumenta com o aumento dos níveis de agregação e fica claro quem é o responsável para agir; (ii) a incerteza dos dados aumenta; e (iii) há necessidade de melhorar a estrutura para interpretar os resultados da AFM, ou seja, os objetivos da gestão de materiais nem sempre são claramente definidos.

2.2.1 Análise de Fluxo de Material e Energia (AFME)

A AFME é uma avaliação sistemática dos fluxos e estoques de materiais e energia dentro de um sistema definido no espaço e no tempo que conecta as fontes, os caminhos e os sumidouros intermediários e finais de um material (NAOHIRO *et al.*, 2016). O que vai diferenciar a AFM da AFME é a análise adicional do termo de energia. Ao realizar a pesquisa no objeto de estudo aplicado, é necessário colher e documentar todas as informações que foram obtidas no local de pesquisa, para que no final do trabalho, todos os dados e informações sejam validados.

A indústria de construção civil utiliza grandes quantidades de energia e material incluindo várias etapas durante todo o processo. Para esse tipo de situação, o estudo aplicado a AFME se torna necessário descobrir em quais processos existem os maiores níveis de consumo de energia. Portanto o método de análise de fluxo de energia e massa para a área industrial é muito importante, pois a partir desta ferramenta, analisando o processo industrial, seus balanços de energia e de materiais serão estimados, fazendo com que os gestores da área possuam conhecimento através das informações coletadas e saiba tomar as medidas necessárias da melhor maneira para a empresa.

A AFME é uma ferramenta que é utilizada para reconhecer os fluxos importantes em um processo produtivo fabril. A indústria enfrenta desafios frequentes imbuída de alcançar vários propósitos ao mesmo tempo. Os principais objetivos são: alta qualidade do produto,

aumento de produtividade, redução do consumo de energia e mitigação das emissões de gases poluentes. Para reconhecer e superar esses desafios, a integração da AFME deve ser utilizada como instrumento crucial neste trabalho (SUN *et al.*, 2020). A figura 2.4 relata um exemplo de AFME, em um ciclo de produção.

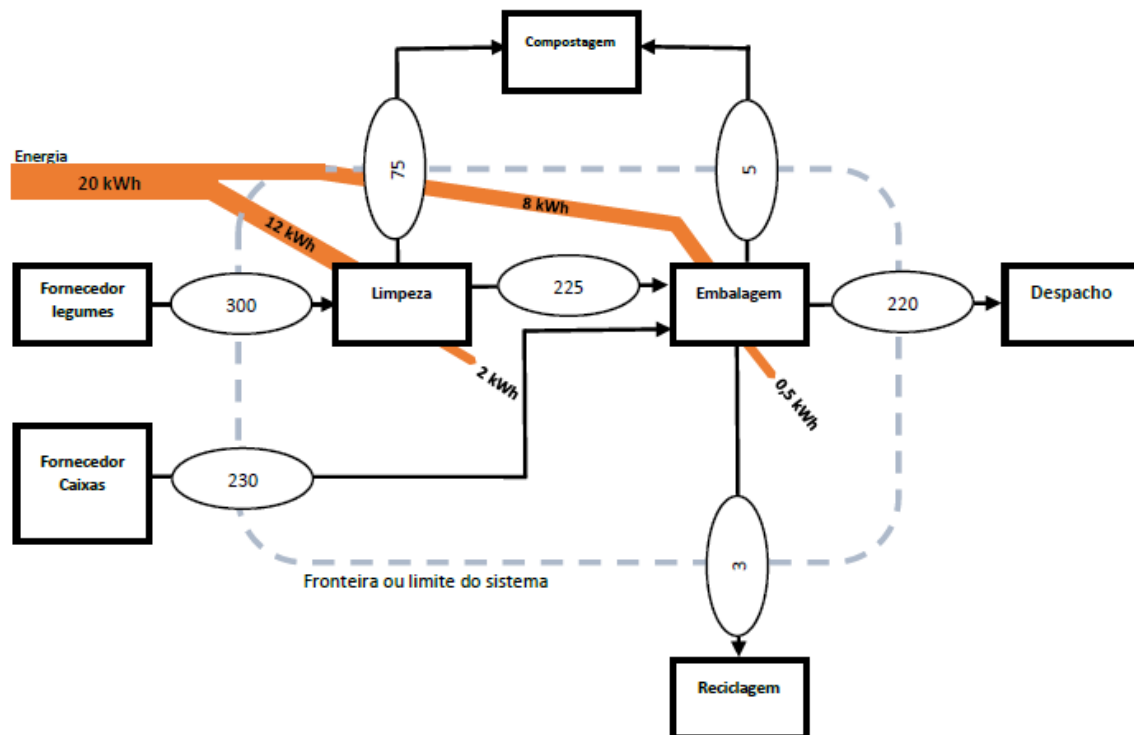


Figura 2.4 – Representação de uma Análise de Fluxo de Material e Energia.
Fonte: Brunner; Rechberger (2004).

2.3 OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

A sustentabilidade ganhou força em todo o mundo. Atualmente é inegociável a premissa de que o meio ambiente equilibrado e que proporcione uma saudável qualidade de vida para as presentes e futuras gerações, deve ser devidamente preservado e protegido, sob pena de a natureza não suportar mais a vida humana na terra (GOMES; FERREIRA, 2018).

O conceito de desenvolvimento sustentável avança rumo ao conceito de sustentabilidade, e, para tanto, a ONU elabora os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), com o intuito de cumprir a agenda de 2030 para o desenvolvimento sustentável

(ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU, 2016). O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) tem como finalidade desenvolver os programas indispensáveis ao desenvolvimento sustentável em conjunto com os governos e membros da sociedade civil na busca pela sustentabilidade (ONU, 2016).

O conceito de governança foi inicialmente apresentado pelo Banco Mundial, com o objetivo de alcançar condições para um Estado eficiente, por meio da participação dos setores público e privado na formulação e articulação de políticas públicas e no processo decisório. Governança ambiental, de forma mais específica, diz respeito a políticas públicas que envolvem a preservação / conservação do ambiente natural, compreendendo o uso sustentável de recursos naturais, com especial enfoque para os recursos da biodiversidade (SILVA *et al.*, 2019).

A governança ambiental é uma ramificação da governança com políticas voltadas para a sustentabilidade socioambiental. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são ferramentas importantes neste tipo de governança, visto que, o plano aponta para 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis e 169 metas, com o intuito de erradicar a pobreza e promover vida digna a todos. Segundo SILVA *et al.*, (2019) os objetivos e metas são claras, para que todos os países adotem de acordo com suas próprias prioridades e atuem no espírito de uma parceria global que orienta as escolhas necessárias para melhorar a vida das pessoas, agora e no futuro. Os objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis foram concluídos em setembro de 2015 por 193 países-membros das Nações Unidas.

O ODS 12 é um objetivo muito importante e possui total conexão com este trabalho, já que aborda o tema do Consumo e Produção Responsável. Para alcançar as metas deste ODS, a mudança nos padrões de consumo e produção se configuram como medidas indispensáveis na redução da pegada ecológica sobre o meio ambiente. Essas medidas são a base do desenvolvimento econômico e social sustentável.

As metas do ODS 12 visam a promoção da eficiência do uso de recursos energéticos e naturais, da infraestrutura sustentável, do acesso a serviços básicos. Além disso, o objetivo prioriza a informação, a gestão coordenada, a transparência e a responsabilização dos atores consumidores de recursos naturais como ferramentas chave para o alcance de padrões mais sustentáveis de produção e consumo.

Cabe a cada país se adaptar da melhor forma a partir dos objetivos acordados entre todos. Assim, o Brasil se adequando ao ODS 12 fez suas ressalvas e a Tabela 2.4 mostra o

Objetivo 12 com propósitos datados até o ano de 2030 e as adaptações feitas pelo governo brasileiro.

Tabela 2.4 – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12 no Mundo e no Brasil.

Nº da meta	Meta dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis pelas Nações Unidas	Alterações dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável adequados para o Brasil
12.1	Implementar o Plano Decenal de Programas sobre Produção e Consumo Sustentáveis, com todos os países tomando medidas, e os países desenvolvidos assumindo a liderança.	Implementar o Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis, em articulação com entes federados.
12.2	Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais.	Meta mantida sem alteração.
12.3	Até 2030, reduzir pela metade o desperdício de alimentos per capita mundial e as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita	Até 2030, reduzir o desperdício de alimentos per capita nacional, as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento e, estabelecer medidas para a redução do desperdício de alimentos no Brasil.
12.4	Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ambiente.	Meta mantida sem alteração.
12.5	Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.	Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da Economia Circular e suas ações de prevenção, redução, reciclagem e reuso de resíduos.
12.6	Incentivar as empresas a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade.	Incentivar as empresas para adotar parâmetros e práticas de responsabilidade socioambiental.
12.7	Promover práticas de compras públicas sustentáveis, de acordo com as políticas e prioridades nacionais.	Promover práticas de contratações e gestão públicas com base em critérios de sustentabilidade, de acordo com as políticas e prioridades nacionais.
12.8	Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza.	Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização sobre o desenvolvimento sustentável, em consonância com o Programa Nacional de Educação Ambiental (PRONEA).
12.a	Apoiar países em desenvolvimento a fortalecer suas capacidades científicas e tecnológicas para mudar para padrões mais sustentáveis de produção e consumo	Meta mantida sem alteração.
12.b	Desenvolver e implementar ferramentas para monitorar os impactos do desenvolvimento sustentável para o turismo sustentável, que gera empregos, promove a cultura e os produtos locais.	Desenvolver e implementar ferramentas para monitorar os impactos do desenvolvimento sustentável para o turismo, acessível a todos, que gera emprego e trabalho digno, melhora a distribuição de renda e promove a cultura e os produtos locais.

12.c	Racionalizar subsídios ineficientes aos combustíveis fósseis, que encorajam o consumo exagerado	Meta mantida sem alteração.
------	---	-----------------------------

Fonte: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2022).

A conexão empreendida pelo ODS é notável, pois reivindica esforços a favor da concreta superação de mazelas que acometem a humanidade e o meio ambiente ao longo dos anos. Nesse ponto, é relevante apontar que os propósitos centrais do ODS se encontram em patente similitude com as dimensões de sustentabilidade (GOMES; FERREIRA, 2018). Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estão entrelaçados no propósito de permear o pleno desenvolvimento sustentável, pois o direito ao futuro está diametralmente ligado ao prestígio do humanismo (proteção e promoção dos direitos humanos). Então aliado à dignidade da pessoa humana, surge a sustentabilidade como novo paradigma para que se possa fomentar uma qualidade de vida sadia para as gerações presentes e futuras, assegurando a perpetuidade da vida humana (STAFFEN; SANTOS, 2016).

A Avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma abordagem reconhecida internacionalmente que avalia o potencial impacto no meio ambiente e na saúde humana, iniciando com a extração de matérias-primas, incluindo transporte, produção, uso, e finalizando com o tratamento do fim da vida útil. A ACV é uma das ferramentas mais poderosas em análise de sistemas de produção ou processo tratando-se de sustentabilidade ambiental. Na indústria, a comunidade acadêmica tem aplicado a abordagem pela ACV com o intuito de avaliar o processo fabril em reposta a utilização de energia em demasia e as preocupações ambientais causadas pelo processo produtivo (ZHANG *et al.*, 2020).

A ACV compreende o ciclo de vida (ou uma etapa) de um processo produtivo, incluindo a extração de matérias-primas, processo de fabricação, transporte, distribuição, uso, manutenção, e depois seu destino final. Assim, por meio de uma base comparativa, pode-se proceder a escolha do sistema menos agressivo ao meio ambiente (ARAUJO *et al.*, 2018; NEVES *et al.*, 2018; ABRAHÃO *et al.*, 2018; GRILO *et al.*, 2018; CARVALHO *et al.*, 2019; CARVALHO *et al.*, 2020). Assim, a ACV visa promover a economia de recursos e a busca da proteção ambiental (SHI *et al.*, 2015), sendo aceita pelas organizações como um método capaz de auxiliar a tomada de decisões estratégicas (UNEP/SETAC, 2011). Registra-se o aumento da conscientização do público em geral, o que elevou a integração do conceito da

ACV aos sistemas de gerenciamento das organizações, e a seu uso na formulação de políticas ambientais (UNEP/SETAC, 2011).

A metodologia da ACV é padronizada internacionalmente pela *International Organization for Standardization* (ISO) em suas normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006). No Brasil, essas normas foram traduzidas pela Associação brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nas normas de igual numeração (ABNT, 2014a; ABNT 2014b).

Segundo ABNT (2014a), a NBR ISO 14.040, que dispõe sobre a gestão ambiental, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto. A avaliação inclui todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade, envolvendo extração e processamento de matérias-primas; fabricação, transporte e distribuição; uso/reuso/manutenção; reciclagem; e disposição final.

Os quatro componentes básicos para a realização de uma ACV são (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b): definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação. A Figura 2.5 ilustra o fluxograma da Avaliação do Ciclo de Vida.

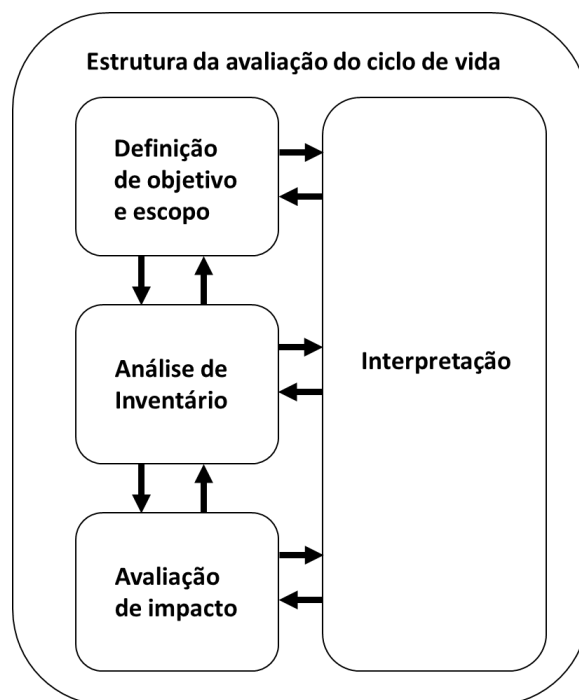


Figura 2.5 - Fases da ACV.
Fonte: Adaptado de (ABNT, 2014a).

O escopo de uma ACV, incluindo a fronteira do sistema e o nível de detalhamento, depende do objeto e do uso pretendido para o estudo. A profundidade e a abrangência da

ACV podem variar consideravelmente, dependendo do objetivo do estudo em particular, No escopo, deve-se constar: a função do sistema (finalidade para a qual o produto estudado se destina, ou seja, a característica de desempenho do produto); unidade funcional (unidade quantificada da função do sistema, fornecendo uma referência mensurável); fluxo de referência (quantidade necessária do produto para realizar a função expressa pela unidade funcional); fronteiras do sistema inicial (definição de quais processos serão incluídos no sistema a ser modelado) e requisitos de qualidade dos dados (ABNT, 2014a).

Na fase de inventário de uso de recursos e emissões, agrupam-se todas as emissões liberadas no ambiente e os recursos extraídos dele ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, e envolvendo também os fluxos intermediários entre os processos. A isto se chama Inventário de Ciclo de Vida (Life Cycle Inventory – LCI) (UNEP/SETAC, 2011). Ou seja, a fase de análise de inventário do ciclo de vida trata-se de um inventário dos dados de entrada/saída associados ao sistema em estudo. Ademais, essa fase envolve a coleta dos dados necessários para o alcance dos objetivos do estudo em questão.

A terceira fase da ACV é a avaliação do impacto que possui o intuito de desenvolver conhecimentos suplementares para ajudar na avaliação dos resultados do Impacto do Ciclo de Vida (ICV) em um sistema de produto, almejando melhor conhecimento de sua relevância ambiental. Os impactos ambientais podem ser analisados de duas maneiras, no ponto médio (midpoint) ou no ponto final (endpoint). Os impactos nos *midpoints* são consequências intermediárias do inventário (processos do sistema) e fluxos de recursos que se agregam para configurar os impactos de *endpoints* (ISMAEEL, 2018). Já os impactos de *endpoints* representam o atributo do ambiente natural, saúde humana ou recursos, que identificam uma questão ambiental que causa motivo de preocupação (ABNT, 2014a). A Figura 2.6 (adaptada de ABNT, 2014a), demonstra a ligação entre os efeitos de *midpoint* e *endpoint*.

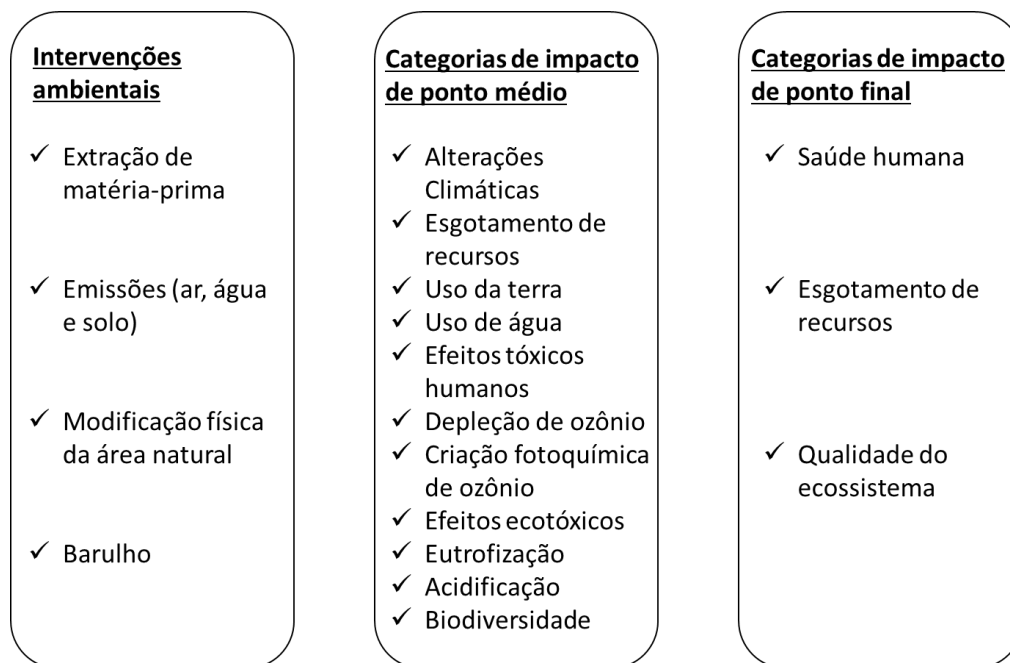


Figura 2.6 - Avaliação do impacto ambiental, correlacionando as categorias de midpoint e endpoint.

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2014a).

A fase final é a interpretação do ciclo de vida, na qual os resultados de um ICV e/ou de uma AICV, ou de ambos, são sumarizados e discutidos como base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e escopo (ABNT, 2014a). Deve gerar um conjunto de conclusões e recomendações, bem como levantar questões ambientais significativas, incluindo uma avaliação do estudo considerando sua integridade e limitações (ABNT, 2014a; UNEP/SETAC, 2011).

CAPÍTULO III

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ESTUDO DE CASO E COLETA DE DADOS

O estudo de caso foi realizado em um processo produtivo de uma empresa de porcelanato situada no nordeste brasileiro, com foco nos equipamentos responsáveis por produzir um tipo específico de porcelanato.

A fábrica consiste em cinco linhas de produção de diversos tipos cerâmicos. A linha escolhida foi a de número dois (produtos destinados exclusivamente a construção civil), de produto final porcelanato em três formatos: 32x64; 32x66 e 50x50. A Tabela 3.1 mostra os produtos de acordo com a linha de produção.

Tabela 3.1 - Formatos e capacidade das linhas de produção.

Linha de produção	Formatos produzidos	Tipologia	Capacidade de Produção
01	10x10cm e 20x20cm	Cerâmica	4.900m ² /dia
02	32x64cm, 32x66cm, 50x50cm	Porcelanato / Monoporosa	7.000 m ² /dia
03	05x10cm / 05x10cm Tela Assimétrica	Cerâmica	2.200 m ² /dia
04	50x50cm e 61x61cm	Porcelanato	8.000 m ² /dia
05	10x10cm	Cerâmica	5.000 m ² /dia

Fonte: Adaptado de Marques (2017).

As linhas de produção possuem capacidade para produzir todos os dias em três turnos. A capacidade diária da fábrica considerando as cinco linhas de produção é de 27.100 m² (MARQUES, 2017).

O presente estudo realizou um levantamento de dados para obter as informações do quantitativo de matéria-prima e energia utilizada pelos equipamentos da linha de produção de porcelanato 02. As informações foram obtidas por meio de questionário aplicado aos setores de qualidade e manutenção (Apêndice A). Os dados cedidos estão relacionados com a produção de março de 2022. A linha de produção possui meta fixa mensal de 210.000 m² de porcelanato.

A partir dos questionamentos sobre o consumo de matéria e energia de cada equipamento com os setores envolvidos, foram adquiridas as informações sobre a disponibilidade dos equipamentos e quesitos técnicos a respeito do processo produtivo de porcelanato. Neste período a linha de produção operou todos os dias da semana em três turnos, totalizando 720 horas de produção. Considerando a coleta de dados em março de 2022, atingiu-se 85% da meta mensal, que correspondeu a 2.685.425 kg de porcelanato.

3.2 ANÁLISE DE FLUXO DE MATERIAL E ENERGIA

A AFME é uma das metodologias mais importantes para quantificar o uso de recursos através da contabilização de fluxos de massa, energia ou água (BLEISCHWITZ, 2010; REIS, 2020) inserido em um sistema estabelecido por sua área e intervalo temporal específico para o estudo aplicado. A utilização da AFME pode ser feita por várias possibilidades. Existe a possibilidade de análise de forma global a qual é uma pesquisa mais abrangente, entretanto impede uma análise minuciosa do sistema produtivo e por consequência dificulta as oportunidades de melhorias de eficiência do setor analisado. A nível setorial, os fluxos de massa são quantificados com base em dados primários ou secundários fornecidos em relatórios ou manuais estatísticos de produção/consumo (REIS, 2020).

O propósito da AFME é coletar a quantidade de matéria-prima e energia em um processo produtivo de porcelanato. A linha de produção 02 é composta por equipamentos em série e cada qual possui suas especificidades relacionadas com a quantidade de insumos, consumo energético e perdas processuais. É necessário definir um sistema de controle para que seja aplicada a AFME nas máquinas responsáveis por produzir o porcelanato. Ademais, a fim de que a AFME seja bem construída é imprescindível que a identificação do processo

possua identificação dos dados de origem e de saída, assim, as informações de importação e exportação serão mais bem compreendidas.

Os aplicativos de software detêm aplicabilidade para confirmar e colaborar com os procedimentos e cálculos. Alguns softwares utilizados na metodologia AFME são Comparison, Gabi, Umberto, e Microsoft Excel. A mensuração dos dados de matéria-prima e energia durante todo o ciclo produtivo de porcelanato foi registrada por meio do Microsoft Excel, devido a familiaridade com a ferramenta e pelo fácil acesso. O Microsoft Excel é um programa de planilha e análise que está disponível como parte do Microsoft Office, e possui recursos com interface intuitiva e capacitadas ferramentas de cálculo e construção de tabelas (MICROSOFT, 2022).

3.3 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

O objetivo da ACV neste estudo é mensurar o impacto ambiental, em termos de GEE, associado ao consumo energético da linha de produção 02 de porcelanato. O escopo da ACV deste trabalho compreendeu o fluxo energético dos equipamentos pertencentes a linha de produção de porcelanato. Para quantificação das emissões de GEE utilizou-se o software Simapro 9.3.0.2 (PréSustainability, 2021) com a base de dados Ecoinvent 3.5 (ECOINVENT, 2019). Devido às preocupações com as mudanças climáticas, selecionou-se o método de avaliação de impacto ambiental IPCC 2013 GWP 100a (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC, 2013), que agrupa as emissões de GEE em termos de uma métrica comum, CO₂-eq, ao longo de 100 anos. A unidade funcional da ACV, a qual todas as entradas e saídas de energias estão associadas, é um quilograma de porcelanato (produto acabado).

Para o mix elétrico brasileiro, utilizou-se a metodologia de Carvalho e Delgado (2017) considerando-se os dados do Balanço Energético Nacional para o mix de geração brasileiro de 2021 (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS, 2022), que inclui as importações: hidráulica 63,35%, eólica 11,97%, gás natural 11,49%, biomassa 4,37%, carvão 2,77%, nuclear 2,47%, óleo 2,17% e solar 1,29%.

Para o consumo de coque de petróleo, o processo selecionado inclui a produção do coque a partir do carvão, onde os produtos são coque, benzeno e alcatrão. Nesse processo produtivo, 79,8% da energia, matéria e emissões são alocados para a produção do coque, com base no conteúdo energético dos co-produtos (ECOINVENT, 2019).

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 AFME

A figura 4.1 mostra o fluxograma do processo produtivo construído via AFME, com as entradas de matéria e energia e a saída de produto, com as perdas que ocorrem durante o processo. (mp) refere-se a matéria prima (kg) e (e) refere-se a energia é dada em kWh. É importante observar no fluxograma 4 as entradas de energia no processo, boa parte da alimentação energética das máquinas é de energia elétrica, com exceção da atomização que emprega coque de petróleo.

Pela análise da figura 4.1, observa-se que em alguns equipamentos (moagem e atomização) não se consideram perdas porque os defeitos são recuperáveis e reaplicados ao processo. No processo de atomização ocorre a evaporação parcial da água contida no pó moído anteriormente, resultando na formação de aglomerados esféricos com características e propriedades adequadas como o tamanho e o formato condizente para as etapas em sequência. O resultado desta evaporação de água gera uma redução de 29% da matéria prima e não possui perdas processuais, pois o vapor de água é direcionado por meio de tubulações até a estação de tratamento de efluentes.

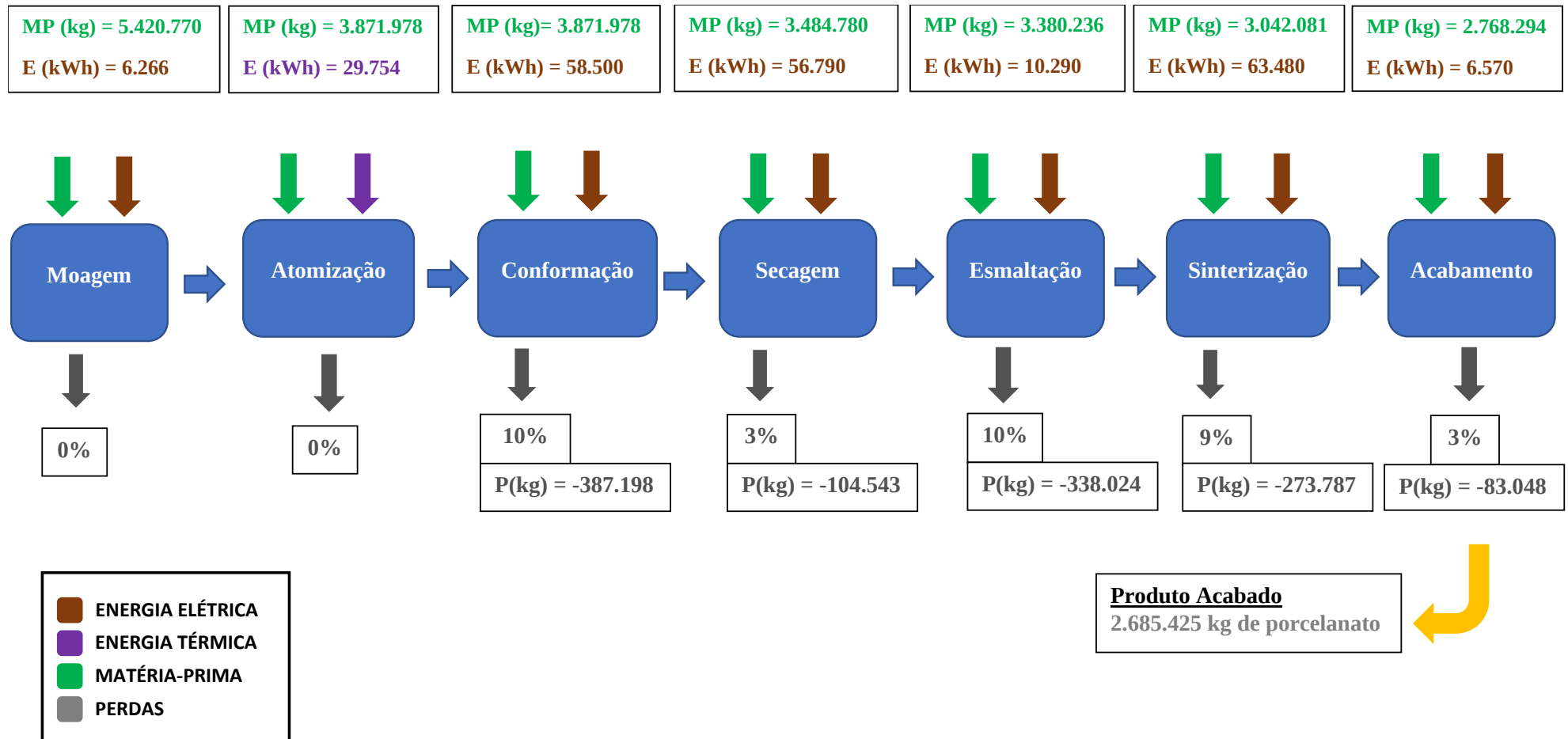


Figura 4.1 – Fluxo de materiais e energia ao longo do processo produtivo mensal de Porcelanato.

Fonte: Elaborada pelo Autor (2022).

Seguindo o fluxo produtivo percebe-se que as maiores perdas estão no processo de conformação, esmaltação e sinterização, totalizando 999.009 kg. O somatório de perdas desses equipamentos representa 84% do total das perdas do processo produtivo, constituindo um percentual elevado e muito representativo na linha de produção de porcelanato. O somatório das perdas de todo o processo de manufatura de porcelanato equivaleu a 1.186.600 kg.

As perdas nestes equipamentos são maiores, pois no processo de conformação se a prensagem não for feita de maneira correta o produto não adquire as propriedades necessárias e isso causaria prejuízo no final do processo com perdas ainda maiores. No caso da esmaltação, caso os equipamentos estejam desregulados ou com algum problema nos bicos de injeção, por exemplo, a peça será comprometida pela má qualidade visual e dessa forma o controle de qualidade rejeita o produto por completo. A temperatura dos fornos necessita estar alinhadas com a ficha técnica do produto, porque as características finais como dureza, baixa absorção, alta resistência e abrasão são finalizadas nos fornos e se a quantidade de calor não for aplicada corretamente ao produto as qualidades necessárias do produto não serão adquiridas e apresentarão falhas quando chegar no consumidor final. As perdas nesta parte do processo não são reaproveitadas, no entanto são movidas para o setor de quebras, para que seja feito o processo de reaproveitamento e, logo após, serem direcionadas para as indústrias de cimento reutilizando-as como insumo.

4.2 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Considerando os processos representativos associados ao consumo de eletricidade do mix brasileiro de 2021 e ao consumo de coque de petróleo, as emissões de GEE obtidas são de 0,268 kg CO₂-eq/kWh e 0,558 kg CO₂-eq/kWh, respectivamente.

A figura 4.2 mostra o fluxograma com as emissões de GEE por equipamento da linha de produção 02.

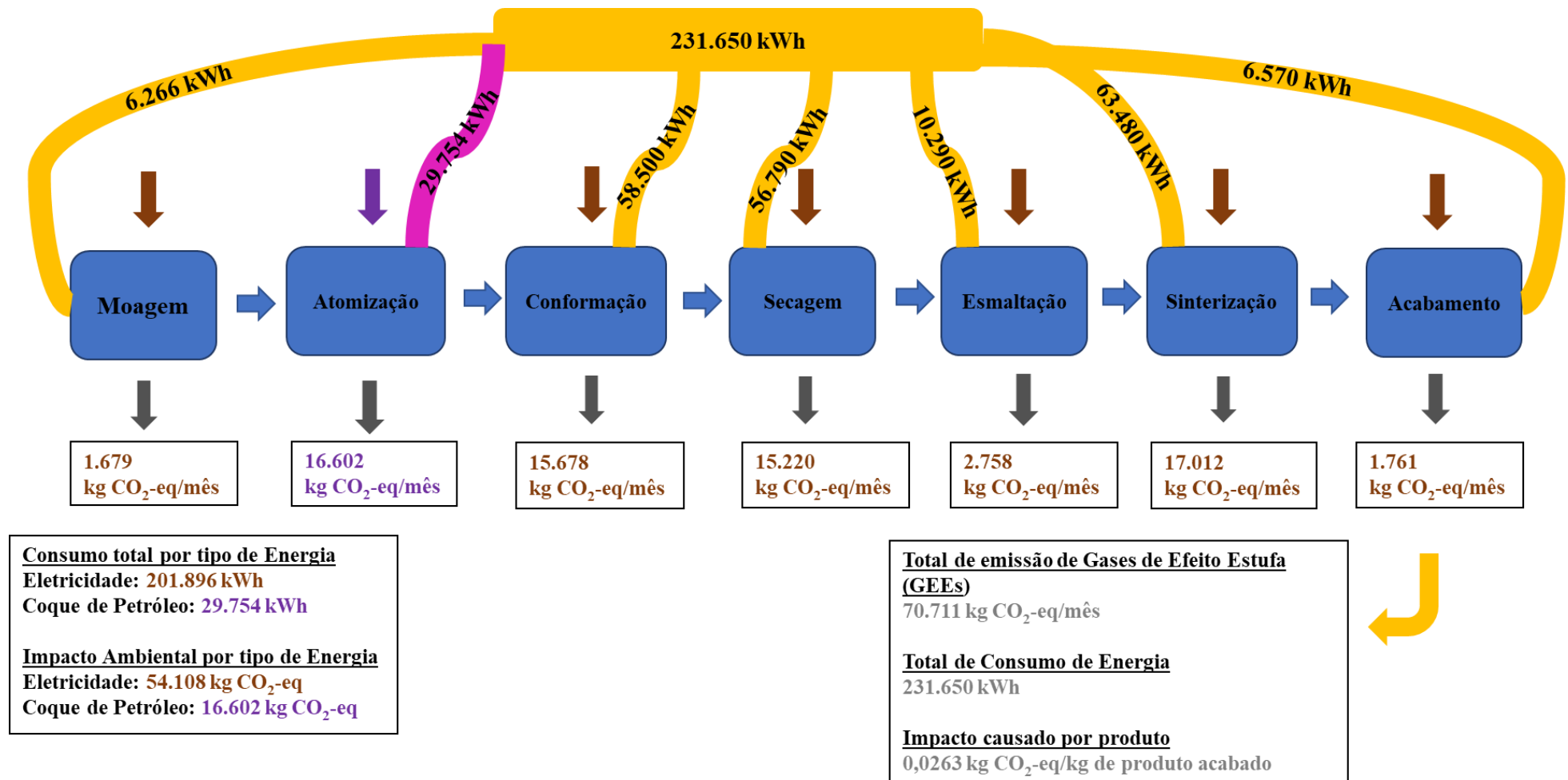


Figura 4.2 – Emissões de gases de efeito estufa associadas às diferentes etapas do processo produtivo mensal de Porcelanato.

Fonte: Elaborada pelo Autor (2022).

Avaliando a figura 4.2 é possível perceber que os processos que mais impactam o ambiente correlacionados com energia e a matéria-prima são: atomização; conformação; secagem e sinterização totalizando 64.513 kg CO₂-eq/kg de porcelanato. Devido ao alto consumo de eletricidade os processos de conformação, secagem e sinterização são os que mais impactam ambientalmente. Já o processo de atomização não consome tanto coque de petróleo, porém por se tratar de um combustível fóssil possui altas emissões.

O impacto de todos os equipamentos totalizou 70.711 kg CO₂-eq. Para os equipamentos que consomem eletricidade, houve o consumo energético de 201.896 kWh, com um impacto total de 54.108 kg CO₂-eq. No caso do atomizador, único equipamento que emprega coque de petróleo, este consome 29.754 kWh e emite 16.602 kg CO₂-eq.

Uma análise interessante é verificar a substituição, mesmo que parcial, da eletricidade consumida da rede elétrica por eletricidade fotovoltaica. Neste caso, devido ao porte da indústria pode-se considerar que parte da eletricidade se origine de uma usina solar fotovoltaica de 16,4 MW, como o caso de estudo de Schultz e Carvalho (2022). Considerando que a pegada de carbono associada ao consumo de 1 kWh de eletricidade fotovoltaica da usina é 0.044 kg CO₂-eq (SCHULTZ; CARVALHO, 2022), a Tabela 4.1 mostra o potencial de redução de emissões associado à substituição da eletricidade na linha de produção 02. É importante salientar que os dados apresentados da tabela 4.1 são apenas do mix elétrico e que a energia gerada pelo coque de petróleo não está inclusa.

Tabela 4.1 - Emissões de gases de efeito estufa para fornecimento de 201.896 kWh de energia elétrica, com diferentes participações da energia fotovoltaica na linha de produção 02 de porcelanato.

	Caso base: 100% rede elétrica	80% rede elétrica + 20% solar	60% rede elétrica + 40% solar	40% rede elétrica + 60% solar	20% rede elétrica + 80% solar	100% solar
kg CO₂-eq	54.108	45.063	36.018	26.973	17.928	8.883

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Com a substituição total da eletricidade, utilizando painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica, a linha de produção 02 emite para a atmosfera 8883 kg CO₂-eq/mês, valor bem menor se comparado com 100% de mix elétrico brasileiro, que emite 54.108 kg CO₂-eq/mês.

Em um caso mais realista, a substituição parcial já se mostra muito eficaz, representando -9.045 kg CO₂-eq/mês a cada 20% de substituição no caso do mix elétrico brasileiro. Ao longo do ano, considerando os 12 meses de operação, estes valores se mostram bastante expressivos: -108.539 kg CO₂-eq/ano. Este valor representa uma redução do impacto causado ao meio ambiente de aproximadamente 17% quando comparado com a utilização integral da rede de eletricidade nacional, que é 54.108 kg CO₂-eq/mês.

Apesar do mix elétrico brasileiro ser considerado um mix de baixa intensidade de carbono, em termos da maior contribuição hidrelétrica, possui ainda participação considerável de combustíveis fósseis. A utilização (mesmo que parcial) de eletricidade solar fotovoltaica é bastante benéfica em termos de GEE, como visto aqui. A introdução de fontes renováveis em geral sempre é benéfica.

Os resultados encontrados neste estudo são extrapoláveis, pois foi utilizado para base de cálculo uma linha de produção de porcelanato, que produz 2.685.245 kg mensais. Quando levamos para a realidade brasileira, com sua produção de cerca de 1.710.860.000 kg mensais, alcança-se um potencial de emissões evitadas da ordem de 62.755 t CO₂-eq por ano com apenas 20% de substituição de energia. Apresenta-se aqui a confirmação que a substituição, mesmo que parcial, da eletricidade oriunda da rede elétrica brasileira por energia solar fotovoltaica possui significativo potencial para mitigação de mudanças climáticas.

A metodologia AFME é uma ferramenta útil para estimar balanços de materiais e energia em um processo de fabricação (NAOHIRO *et al.*, 2016). A verificação do balanço sendo feita de maneira correta viabiliza um melhor gerenciamento de dados, e as principais perdas do processo serão identificadas de maneira mais eficiente. A AFME é um excelente mecanismo, pois possibilita que as empresas alcancem melhor produção e utilização de seus recursos.

Países que são considerados referência no mercado e grandes produtores de porcelanato como Portugal (ALMEIDA *et al.*, 2016), Espanha (ROS DOSDÁ, 2018) e Itália (BLUNDO *et al.*, 2018), já realizaram estudos de ACV em seus polos respectivos, mapeando a situação de seus produtos.

No estudo de Almeida *et al.* (2016), a abordagem escolhida incluiu desde a extração da matéria-prima até o descarte final. Observou-se que a principal origem dos impactos ambientais se encontrava nas etapas de fabricação juntamente com a etapa do transporte. O mesmo resultado foi obtido na Espanha por Ros Dosdá *et al.* (2018), utilizando também a

mesma abordagem do berço ao túmulo, e evidenciando que o maior impacto de gases de efeito estufa derivava das etapas do processo de fabricação.

Embora as pesquisas possam convergir para uma mesma linha de raciocínio, é possível que surjam outras conclusões interessantes e menos esperadas também. Um estudo sobre o polo cerâmico de Sassuolo, na Itália, um dos mais importantes do mundo, concluiu que o transporte das matérias-primas até as fabricas foi a etapa que causa o maior impacto ambiental (BLUNDO, 2018; CONTATERSI, 2019). Neste caso específico, atribui-se a significância desta etapa às emissões de NO_x, aliada às longas distâncias entre as minas e as fábricas, uma vez que as matérias-primas são oriundas de outras partes da Itália (Toscana, Piemonte, Sardenha) e do exterior (Alemanha, Turquia e Ucrânia).

Embora cada pesquisa tenha um escopo específico, todavia algumas resoluções são semelhantes. A etapa de fabricação dos revestimentos cerâmicos é evidenciada, de modo geral, como maior responsável pelos danos ambientais atingidos.

A aplicação da ACV a um determinado processo produtivo permite que a tomada de decisão esteja apoiada em estudos ambientais, contabilizando potenciais impactos ao longo do ciclo de vida. Ademais, a metodologia ACV é capaz de proporcionar a visão panorâmica necessária para a tomada de decisão quanto as ações que levam à redução dos impactos ambientais (GARCIA et al., 2021). Entender os prejuízos causados ao meio ambiente por meio de cada etapa do processo produtivo de porcelanato acarretará alternativas para mitigar o impacto ambiental de modo mais assertivo. Destarte fará com que os esforços sejam alocados nos principais problemas, evitando o desperdício de tempo em projetos que não sejam prioridade.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSÃO

A Metodologia AFME é uma ferramenta útil para ponderar o balanço de energia e dos materiais que estão correlacionados com o processo de fabricação de porcelanato. Após aplicação da AFME foi possível construir o fluxograma para a matéria e energia associada a uma linha de produção de porcelanato, constituída de moagem, atomização, conformação, secagem, esmaltação, sinterização e acabamento. Todos os equipamentos operam com eletricidade, menos a atomização que utiliza coque de petróleo.

As perdas mensais na linha de produção foram quantificadas em 1.186.600 kg de material, com um consumo mensal de 231.650 kWh, sendo divididos em 201.896 kWh de eletricidade e 29.754 kWh de coque de petróleo. Mensalmente obtém-se 2.685.425 kg de porcelanato (produto acabado).

Aplicando-se a metodologia da ACV aos consumos energéticos, verificou-se que as emissões operacionais são 0,268 kg CO₂-eq/kWh e 0,558 kg CO₂-eq/kWh para o consumo de eletricidade e coque de petróleo, respectivamente. Isso totaliza emissões mensais de 70.711 kg CO₂-eq (70,71 kg CO₂-q/ t de porcelanato), das quais 54.108 kg CO₂-eq referem-se à eletricidade e 16.603 kg CO₂-eq ao coque de petróleo.

Verificou-se que as emissões de GEE obtidas com a substituição da eletricidade demonstram que a introdução, mesmo que parcial, de energia solar fotovoltaica é uma alternativa viável ambientalmente. Observou-se que a cada 20% de substituição da eletricidade (consumindo dos painéis em vez da concessionária elétrica) evitam a emissão de 9.045 kg CO₂-eq/mês. Considerando 12 meses de operação, obtém-se uma redução do impacto ambiental avaliada em 108.539 kg CO₂-eq/ano.

Finalmente, existe a necessidade de desenvolver estudos específicos visando um melhor conhecimento dos processos produtivos, visando melhor. Estes estudos não apenas

aprofundariam as questões da AFME e ACV, como também apontariam para a normatização de procedimentos e evidenciariam a falta de dados primários.

Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se buscar outra forma de substituição energética e estratégias para diminuir as perdas de porcelanato e matéria ao longo da linha de produção. Nesse caso, aumenta-se a produção de porcelanato (produto acabado) e consegue-se reduzir as emissões específicas por tonelada produzida.

CAPÍTULO VI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCERAM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Disponível em: <<https://www.abceram.org.br>>. Acesso em: 17 abr. 2022
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: NBR ISO 14044, Rio de Janeiro, ABNT, 2009 – versão corrigida 2014b.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: NBR ISO 14044, Rio de Janeiro, ABNT, 2009 – versão corrigida 2014b.
- ABRAHAO, R.; CARVALHO, M., 2018, Environmental Impacts of the Red Ceramics Industry in Northeast Brazil. **International Journal of Emerging Research in Management and Technology**, v. 6, p. 310.
- ALLEN, F. W., 2005, Material flows accounts: Moving from prototypes to practice, **Journal of Industry Ecologic**. v.9, n.3, pp. 8-11.
- ALMEIDA, M. I; DIAS, A. C.; DEMERTZI, M.; ARROJA, L., 2016, Environmental profile of ceramic tiles and their potential for improvement. **Journal of Cleaner Production**, v. 131, p. 583–593.
- ANFACER - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. Disponível em: <<https://www.anfacer.org.br>>. Acesso em: 07 jun. 2022.
- ARAÚJO Y. R. V.; DE GÓIS, M. L.; COELHO JUNIOR, L. M.; CARVALHO, M., 2018, Carbon footprint associated with four disposal scenarios for urban pruning waste. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 2, pp. 1863-1868.
- BESSA, L. J. N.; SOMBRA, F. J. J.; GUERRA, F. K. O. M. V., 2021, Análise de implementação de medidas de eficiência energética em uma indústria cerâmica de

- pequeno porte em Russas/CE, **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**, v.3, n.1, pp. 25-34
- BINDER, C. R., 2007, From material flow analysis to material flow management Part I: Social science approaches coupled to material flow analysis. **Journal of Clean Production**, v.15, n.17, pp. 1596 – 1604.
- BLEISCHWITZ, R., 2010, International economics of resource productivity – Relevance, measurement, empirical trends, innovation, resource policies. **International Economics and Economic Policy**, v. 7, n. 2–3, p. 227–244.
- BLUNDO, D. S.; MUINA, F. E. G.; VOLPI, M. P. L.; SILIGARDI, C.; FERRARI, A. M., 2019, Sustainability as source of competitive advantages in mature sectors: the case of Ceramic District of Sassuolo (Italy). **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 8, n. 1, pp. 53–79.
- BRITO, A. M. V. G., ANDRADE, E. A., CARVALHO, M., 2022, “Pegada de carbono da sinterização do porcelanato e potencial de mitigação de mudanças climáticas associado à substituição energética”, **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**.
- BRUNNER, P. H.; RECHBERGER, H., 2020, **Handbook of material flow analysis**, CRC Press Editora: 2ª Edição. Boca Raton, California.
- CAGED, Cadastro Geral de Empregados e Desempregados. Disponível em: <<https://www.gov.br>>. Acesso em 08 jun. 2022
- CARVALHO, M.; DELGADO, D., 2017, “Potential of photovoltaic solar energy to reduce the carbon footprint of the Brazilian electricity matrix”, **Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**. v.1, n. 1 (julho), pp. 64-85.
- CARVALHO, M.; GRILO, M. M. D. S.; ABRAHAO, R., 2018, Comparison of greenhouse gas emissions relative to two frying processes for homemade potato chips. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 37, n. 1, pp. 481-487.
- CARVALHO, M.; SILVA, A. L. T.; DINIZ, D. P.; BRITO, A. M. V. G.; FREIRE, R. S., 2020, Pegada de carbono associada à produção de bolos, **Revista em agronegócio e meio ambiente**, v. 13, n.3, pp. 1185-1200.
- CCB, Centro Cerâmico do Brasil. Disponível em: <<https://www.ccb.org.br>>. Acesso em 04 jun. 2022.
- CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Disponível em: <<https://cbic.org.br>>. Acesso em 04 abr. 2022

- CONTANTERSI, F.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O., 2019, Avaliação do ciclo de vida (ACV): Uma ferramenta para a redução do impacto ambiental dos revestimentos cerâmicos, **Cerâmica Industrial**, v.24, n.2, pp. 30-44.
- ECOINVENT. The ecoinvent database 3.5 (2019). Disponível em: <<http://www.ecoinvent.org/>>. Acesso em: 22 mai. 2022.
- ELSEVIER. The scopus database. Disponível em: <<https://elsevier.com.br/pt-br/research-platforms>>. Acesso em: 11 jun. 2022.
- EU Commission. **Taking Sustainable Use of Resources Forward: Communication from the Commission of the European A Thematic Strategy on the Prevention and Recycling of Waste**; Communities: Brussels, Belgium, 2005. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52005DC0666>>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- GARCIA, L. C., MARTINS, D. D., BARBOSA, R. R., & CARVALHO, M. (2021). Greenhouse gas emissions associated with two air-conditioning systems for a university building. *Environmental Challenges*, 5, 100371.
- GOMES, M. F.; FERREIRA, J.F., 2018, Políticas públicas e os objetivos do desenvolvimento sustentável, **Direito e Desenvolvimento**, João Pessoa, v.9, n.2, (dezembro) pp. 155-178.
- GRAEDEL, T. E., 2019, Material flow analysis from origin to evolution. **Environmental Science and Technology**, v.53, n.4, pp.12188 – 12196.
- GRILO, M. M. S.; FORTES, A. F. C.; DE SOUZA, R. P. G.; SILVA, J. A. M.; CARVALHO, M., 2018, Carbon footprints for the supply of electricity to a heat pump: Solar energy vs. electric grid. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 10, n. 2, p. 023701.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA - IBICT. Avaliação do Ciclo de Vida. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibict/pt-br>>. Acesso em: 15 Abr. 2022.
- INSTITUTO DE PESQUISA APLICADA – IPEA. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/ods12.html>>. Acesso em: 12 jun. 2022
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the kyoto protocol. (2013). Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/>>. Acesso em: 27 mai. 2022.

- ISMAEEL, W. S. E., 2018 “Midpoint and endpoint impact categories in Green Building rating systems”, **Journal of Cleaner Production**, v. 182, n.7 (maio), pp. 783-793.
- ISO 14040 - International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Genebra, ISO, 2006.
- ISO 14044 - International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. Genebra, ISO, 2006.
- KOWALSKI, M. F., 1998, The intellectual history of Material Flow Analysis. **Journal of Industry Ecology**, v.2, n.1, pp. 61-78.
- KRAUSMANN, F.; SCHANDL, H.; EISENMENGER, N.; GILJUM, S.; JACKSON, T., 2017 “Measuring Global Material Use for Sustainable Development”, **Annual Review of Environment and Resources**, v.42, n. 2 (julho), pp. 647-675.
- KYTZIA, S.; PLUSS, P.; BADER, H. P.; SCHEIDEGGER, R.; FAIST, M.; HENSELER, G.; BACCINI, P., 1996, Environmental management in enterprises: An Exemple of the use of a company substance flow account in a newspaper printing company. **Swiss Federal Institute for Water Research**, v.3, n.2 (maio) pp. 12-20.
- MARQUES, M. H. V.P, 2017, **Análise da variabilidade do processo de sinterização em uma indústria de revestimentos cerâmicos e de porcelanato usando a ferramenta CEP**, Monografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil.
- MEDEIROS, L. M.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A., 2018, A contribuição para a avaliação do ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.18, n.2 (abril) pp. 365-385.
- MICROSOFT. Auxílio e aprendizado da ferramenta Excel (2022). Disponível em: <<https://www.support.microsoft.com.br/pt-excel>> Acesso em: 12 set. 2022
- MORIGUCHI, Y.; HASHIMOTO, S., 2016, “Material flow Analysis and waste management”. In: Springer Open, **Taking Stock of Industrial Ecology**, 2ª Edição., capítulo 12, New York, USA.
- Ministério da saúde – Coronavírus (COVID19). Brasília, DF. Disponível em: <<https://www.covid.saude.gov.br>> Acessado em: 30 ago, 2022.
- Ministério do meio ambiente – Construção Sustentável. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br>>. Acesso em: 04 jul. 2022

- NASCIMENTO, C. A., 2015, **Estudo de reengenharia de fornos cerâmicos com crivamento: uma oportunidade real de melhoria da sustentabilidade**. MsC. Dissertação. Universidade Federal do Paraná, Guarapuava, Brasil.
- NAOHIRO, G.; ULHASANAH, N.; KAMAHARA, H.; HASANUDIN, U.; TACHIBANA, R.; FUJIE, K., 2016, “Material and flow analysis”. In: Dewulf, J., Meester, S., Alvarenga, R. A., **Sustainability Assessment of Renewables-Based Products**, 5ª edição, capítulo 9, New Jersey, USA, Hindawi Publishing Corporation.
- NEVES, T. I.; UYEDA, C. A.; CARVALHO, M.; ABRAHÃO, R., 2018, Environmental evaluation of the life cycle of elephant grass fertilization - *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone-using chemical fertilization and biosolids. **Environmental monitoring and assessment**, v. 190, n. 1, p. 30.
- OLIVEIRA, J. S., 2018, **Identificação das dificuldades para implementação da produção enxuta em uma indústria de porcelanato para revestimentos**. Monografia. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil.
- OLIVEIRA, M. C., 2006, **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos**. CETESB Editora: 1ª Edição. São Paulo. 90p.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS, 2022. Informativo Diário de Operação. IPDO 2022 <<http://www.ons.org.br/publicacao/ipdo/>>.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Os objetivos de desenvolvimento sustentável: dos ODM ao ODS. **Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento (PNUD)**. Disponível em: <<https://www.pnud.org.br/ODS.aspx>>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- Pré Sustainability. SIMAPRO. Software 2019. Disponível em: www.simapro.nl. Acesso em: 10 abr. 2022.
- REIS D.; C., 2020, **Fluxo de materiais e eficiência no uso de recursos na indústria da construção**, DoC, Tese, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- REQUEIJO, J.F.G.; ABREU, A. J.; CALADO, J. M. F.; DIAS, A. S. M. E., 2018. Six sigma business scorecard approach to support maintenance projects in a collaborative context. **Revista produção e desenvolvimento**. v.4, n.1 (abril) pp. 82-97.
- RODRÍGUEZ, M. T. T.; ANDRADE, L. C.; BUGALLO, P.M.B.; LONG, J.J.C., 2011, Combining LCT tools for the optimization of an industrial process: Material and

- Energy flow analysis and best available techniques. **Journal of Harzadous Materials**, v.192, pp. 1705 – 1719.
- ROS-DOSDÁ, T.; CELADES, I.; MONFORT, E.; PALMER, P. F., 2018, Environmental profile of Spanish porcelain stoneware tiles. **Int J Life Cycle Assess**, v. 23, n. 8, pp. 1562–1580.
- SAMPAIO, D.; ASSUNÇÃO, C.; AKASAKI, J., 2020, “A construção civil sob o ponto de vista da avaliação de sustentabilidade do ciclo de vida”, **Revista Anap**, 2020 Secretaria Especial de Previdência e Trabalho, do Ministério da economia. Disponível em: <<https://www.gov.br>>. Acesso em: 06 jun. 2022.
- SHI, J.; LIU, C. Z.; ZHANG, C. Z.; JIANG, Q., 2015, “Life Cycle Assessment: State of the Art and Future Perspectives” **Recent Patents on Mechanical Engineering**, v.8, n.3, pp. 211-221.
- SCHULTZ, H. S.; CARVALHO, M., 2022, Design, Greenhouse Emissions, and Environmental Payback of a Photovoltaic Solar Energy System. **Energies**, v. 15, pp. 1-24.
- SILVA, T.F.D.; MACHADO, B.A.; PASCHOALIN FILHO, J.A., 2019, “Inovação tecnológica no gerenciamento de resíduos de construção civil (RCC) na cidade de Guarulhos: Estudo de caso em uma usina de reciclagem de entulho” **Revista Nacional De Gerenciamento de Cidades**, v.7, n.53, pp. 1-18.
- STAFFEN, M. R.; SANTOS, R. P., 2016, O fundamento cultural da dignidade da pessoa humana e sua convergência para o paradigma da sustentabilidade. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v.13, n. 26, (AGO) pp. 263-288. Disponível em: <<https://www.domhelder.edu.br/revista/index.php/veredas/articles/view/814>>. Acesso em: 09 jun. 2022.
- SUN, W.; WANG, Q.; ZHOU, Y.; WU, J., 2020, Material and energy flows of the iron and steel industry: Status quo, challenge and perspectives, **Science Direct**, v.15.
- UNEP/SETAC. Guidelines for social life cycle assessment of products. [S.l: s.n.], 2009.
- ZHANG, D.; ZHAO, H.; GAO, W.; SHENG, Y.; CAO, H., 2022, The significance of resource recycling for coking wastewater treatment: Based on environmental and economic life cycle assessment, **Green Chemical Engineering**.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Questionário a respeito do processo produtivo de porcelanato.

ENTREVISTA DE AVALIAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Prezado Colaborador,

Estou elaborando um estudo de caso para mensurar a quantidade de matéria-prima e energia atreladas a um processo produtivo de porcelanato, além disso quantificar o impacto ambiental causado pelo consumo energético dos equipamentos da linha de produção.

A empresa será mantida em sigilo e as informações coletadas serão utilizadas com o objetivo de promover melhorias ao processo produtivo.

Desde já agradeço sua atenção e colaboração.

1. Como funciona o processo produtivo de porcelanato?
2. Quais são os equipamentos? Todos os equipamentos geram perdas ao processo?
3. Quais são as principais perdas processuais?
4. Qual é a meta mensal de produção? Existe acréscimo ou decréscimo de meta por sazonalidade ou algum outro motivo?
5. Quantos quilos de matéria-prima se inicia e quanto deveria terminar o processo produtivo para concluir a meta mensal?
6. Todas as máquinas são alimentadas pelo mesmo tipo de energia?
7. A fábrica possui energia renovável ou algum projeto futuro?