

COGERAÇÃO NA INDÚSTRIA CERÂMICA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A RECUPERAÇÃO DE CALOR EM FORNOS CERÂMICOS E SEUS BENEFÍCIOS.

ALEXANDRE MAGNO VIEIRA GONÇALVES DE BRITO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Introdução

A cogeração de energia possibilita melhor aproveitamento do gás, com mais eficiência e custos atrativos para o usuário devido à grande produção de energia e calor de serviço com o combustível que seria utilizado apenas para que realizasse um serviço (PILON et al., 2012). Ademais, o mundo está cada vez mais precavido com os impactos ambientais, e o usufruto da cogeração se torna indispensável para auxiliar na redução dos gases de efeito estufa. Destarte, a utilização do calor residual irá cooperar com o aumento de eficiência energética e a mitigação dos impactos ambientais.

Problema de Pesquisa e Objetivo

A cogeração proporciona reduções nas emissões de poluentes para a atmosfera, comparando-se com as produções separadas das mesmas quantidades de energia térmica e elétrica (BARBELLI, 2015). Este fato corrobora com a ideia de maior utilização da cogeração nos setores industriais, buscando dessa forma um modelo de desenvolvimento que seja mais sustentável na produção de eletricidade, procurando agredir menos os ecossistemas envolvidos. Por conseguinte, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão sistemática dos últimos 5 anos a respeito da relevância da cogeração em indústrias cerâmicas.

Fundamentação Teórica

A indústria cerâmica é um setor intensivo em energia, semelhante ao aço, cimento e vidro indústrias (Comissão Europeia, 2019). A indústria cerâmica, por meio de suas demandas características no processo de manufatura, necessita do uso da cogeração no percurso da sua operação. De acordo com Silva (2021), a cogeração trata-se de um processo de produção e utilização combinada de eletricidade e calor, que proporciona um aproveitamento de mais de 70% da energia térmica proveniente dos combustíveis utilizadas nesse processo.

Metodologia

Devido a importância da reflexão sobre o que se investiga e do processo de investigação, aplica-se aqui a pesquisa-ação, uma metodologia qualitativa (Pereira et al., 2018). A pesquisa por completo foi realizada na base de dados do google acadêmico utilizando as línguas inglesa e portuguesa nas buscas. A limitação das consultas para a realização do trabalho foi que contivesse o aproveitamento de calor residual aplicado em fornos industriais cerâmicos. Os descritores usados na busca foram: cerâmica, gases de exaustão, recuperação de calor, cogeração e o operador booleano utilizado foi OR.

Análise dos Resultados

Os direcionadores de buscas forneceram um total de 33 artigos. A busca em português retornou 2 trabalhos e o rastreamento em inglês consequentemente 31 pesquisas. Após as etapas de triagem e elegibilidade, o estudo foi finalizado com apenas 9 artigos. Os artigos identificados foram: Chen et al (2018); Delpech et al (2018); Montorsi et al (2018); Vale (2018); Egilegor et al (2020); Oliveira et al (2020); Pilon et al (2020); Venturellia et al (2020); Frignani (2021). É importante lembrar que, foi aplicada restrição de tempo de 5 anos para coletar as pesquisas mais atualizadas.

Conclusão

Em seguida da inspeção dos periódicos apresentados, constatou-se que os fornos industriais são muito importantes para a cogeração de energia. Com a recuperação do calor residual o qual era apenas expelido ao ecossistema, e sabendo utilizar as ferramentas adequadas, possibilitará que as indústrias aproveitem melhor a energia que elas mesmos estão produzindo. A utilização da cogeração nas indústrias gera beneficiamento em várias vertentes, a saber, reaproveitamento energético, sustentabilidade e economia de combustível.

Referências Bibliográficas

PEREIRA, A.S; Metodologia da pesquisa científica [recurso eletrônico]. Ed 1. UFSM, NET, 2018. Santa Maria. BARBELLI, M.; C., 2015, A cogeração de energia e sua importância do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. Empreendedorismo, Gestão e Negócios, v.4, n.4, pp. 238-246. SILVA, R. B. D. S., 2021, O desempenho energético e ambiental da indústria portuguesa de cerâmica, MsC, Dissertação, Universidade do Porto, Porto, Portugal. PEREIRA, A.S., 2018, Metodologia da pesquisa científica [recurso eletrônico]. Ed 1. UFSM, NET, Santa Maria.

Palavras Chave

Cogeração, Perda Residual, Fornos Cerâmicos

Agradecimento a órgão de fomento

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade (309452/2021-0).

COGERAÇÃO NA INDÚSTRIA CERÂMICA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A RECUPERAÇÃO DE CALOR EM FORNOS CERÂMICOS E SEUS BENEFÍCIOS.

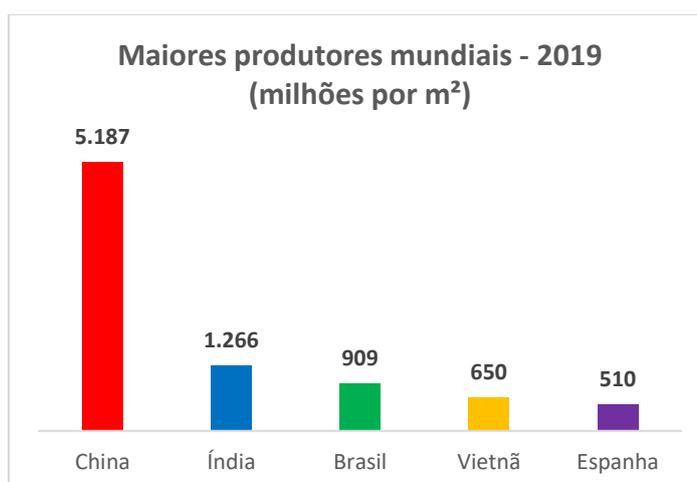
1 INTRODUÇÃO

A construção civil, em 2020, 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). Embora o mundo esteja passando por uma pandemia a qual afeta diretamente a economia dos países, foi visto que no Brasil o ramo da construção civil conseguiu manter-se erguido proporcionando oportunidades de emprego para quem trabalha nessa área.

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.

A indústria cerâmica é um setor intensivo em energia, semelhante ao aço, cimento e vidro indústrias (Comissão Europeia, 2019). O Brasil é hoje um dos grandes produtores mundiais do revestimento cerâmico sendo não só o país como um dos maiores consumidores mundiais de revestimentos cerâmicos como também terceiro maior produtor. Ademais, a indústria cerâmica brasileira tem grande importância para o país, tendo participação no PIB – Produto Interno Bruto – da ordem de 1,0% (Bustamante, Bressiani, 2020). A Figura 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: Maiores produtores mundiais de revestimentos cerâmicos.



Fonte: ANFANCER, 2021.

A indústria da cerâmica, devido às suas necessidades específicas na produção, recorre à cogeração no decurso da sua atividade. A cogeração trata-se de um processo de produção e

utilização combinada de eletricidade e calor, que proporciona um aproveitamento de mais de 70% da energia térmica proveniente dos combustíveis utilizados nesse processo (SILVA, 2021).

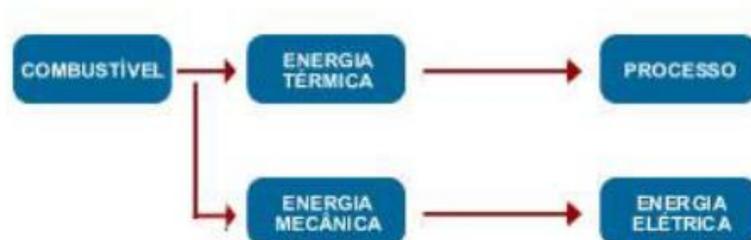
O significado de cogeração foi tipificado na legislação brasileira através da Resolução N° 21 de 20 de janeiro de 2000 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). De acordo com seu Art. 3º, a cogeração de energia é definida como o processo de produção combinada de calor útil e energia mecânica geralmente convertida, total ou parcialmente, em energia elétrica, a partir da energia química disponibilizada por um ou mais combustíveis.

Percebe-se atualmente ao redor do mundo, uma maior relevância e forte investimento à cogeração, sobretudo, pela alta eficiência obtida quando ocorre a associação da energia térmica e elétrica em um único sistema. Além disso ainda há a sustentabilidade envolvida, o mundo está cada vez mais cuidadoso com os impactos ambientais causados, e a utilização de cogeração é essencial para reduzir a emissão de gases do efeito estufa, ajudando assim o planeta, então é preferível a cogeração justamente por estar escolhendo uma energia de fonte limpa como por exemplo o gás natural. Os países europeus estão desenvolvendo projetos para incentivar cada vez mais a cogeração, a exemplo disso, temos Itália e Espanha, que possuem escassa disponibilidade de combustível fóssil, assim a energia limpa sendo uma ótima válvula de escape para diminuir a dependência de energia de outros países. É importante salientar que esses países são referências em fabricação de cerâmica por todo o mundo.

De acordo com Pilon et al. (2012), a cogeração de energia possibilita melhor aproveitamento do gás, com mais eficiência e custos atrativos para o usuário devido à grande produção de energia e calor de serviço com o combustível que seria utilizado apenas para que realizasse um serviço. Devido à grande produção de energia com um sistema de cogeração, a indústria pode ter uma independência parcial ou até total da concessionária da energia devido ao fato de grande produção de energia.

Na Figura 2 está um exemplo de cogeração de energia, que será exemplificado por um combustível que será aplicada como fontes de energias térmica e mecânica, em que a energia térmica irá ser consumida no processo produtivo e posteriormente a energia mecânica irá gerar energia na ponta do eixo de um gerador.

Figura 2: Esquema de cogeração de energia.



Fonte: Pilon et al (2012).

Portanto, reconhecendo a importância da indústria cerâmica para o Brasil e a relevância das estratégias para o aproveitamento de calor residual, o objetivo deste trabalho é realizar uma

revisão bibliografia dos últimos 5 anos em pesquisas que estejam tratando deste assunto. O calor residual em fornos cerâmicos pode ser aproveitado de várias formas, aumentando a sua eficiência energética, reduzindo o impacto ambiental e economizando dinheiro com desperdício de combustível. Por conseguinte, é importante mostrar que é possível realizar melhorias no próprio processo industrial e que se bem aproveitados os resultados para a empresa serão os melhores possíveis.

1.1 PROBLEMAS DE PESQUISA E OBJETIVO

A cogeração é um tipo de geração distribuída de energia elétrica. Por conseguinte, ela pode propiciar economias nos investimentos do setor elétrico em redes de transmissão e distribuição, além de reduções nas perdas destas redes. A cogeração também pode proporcionar reduções nas emissões de poluentes para a atmosfera, comparando-se com as produções separadas das mesmas quantidades de energia térmica e elétrica (BARBELI, 2015).

No quesito do combate a emissão de poluentes os sistemas de cogeração podem contribuir bastante para a redução dos gases de efeito estufa, uma vez que o processo de conversão de energia é mais eficiente e, dependendo do combustível utilizado, como por exemplo, o gás natural, as emissões são mais baixas. Este fato corrobora com a ideia de que a maior utilização da cogeração pode auxiliar na busca de um modelo de desenvolvimento mais sustentável na produção de eletricidade, agredindo menos os ecossistemas envolvidos.

Dessa forma é possível que as grandes empresas continuem produzindo em larga quantidade e trabalhando a favor do meio ambiente. A cogeração é uma ferramenta importante pois sua reutilização ajudará o ecossistema. Neste contexto, este trabalho tem a seguinte questão de pesquisa: O que seria a cogeração e quais benefícios ela traria? A cogeração pode ser aplicada em todas as áreas? Existem muitas pesquisas aplicadas a cogeração correlacionadas com indústrias de porcelanato cerâmico?

1.2 OBJETIVO GERAL

Realizar uma revisão sistemática sobre a aplicação de cogeração em fornos industriais de porcelanato para mostrar os seus benefícios, se assim for feito de maneira correta.

1.2.1 Objetivos específicos

- ✓ Realizar uma revisão de literatura sobre a cogeração desenvolvida para a indústria de porcelanato cerâmico no Brasil e mundo;
- ✓ Elaborar uma revisão sistemática atual sobre a utilização de cogeração nos fornos industriais de porcelanato.

2 METODOLOGIA

Devido a importância da reflexão sobre o que se investiga e do processo de investigação, aplica-se aqui a pesquisa-ação, uma metodologia qualitativa (Pereira et al., 2018), onde é importante a interpretação dos pesquisadores, incluindo suas opiniões sobre o fenômeno em estudo. A pesquisa foi realizada no google acadêmico, utilizando as línguas inglesa e portuguesa nas buscas.

Foram usadas as seguintes strings de busca: *allintitle: cerâmica "gases de exaustão" OR "recuperação de calor" OR "cogeração"* e *allintitle: ceramic "exhaust gases" OR "heat recovery" OR "cogeneration"*. Foi utilizada restrição temporal, incluindo estudos publicados até o ano de 2018, para obter materiais atualizados com tecnologias aplicáveis ao tempo da pesquisa.

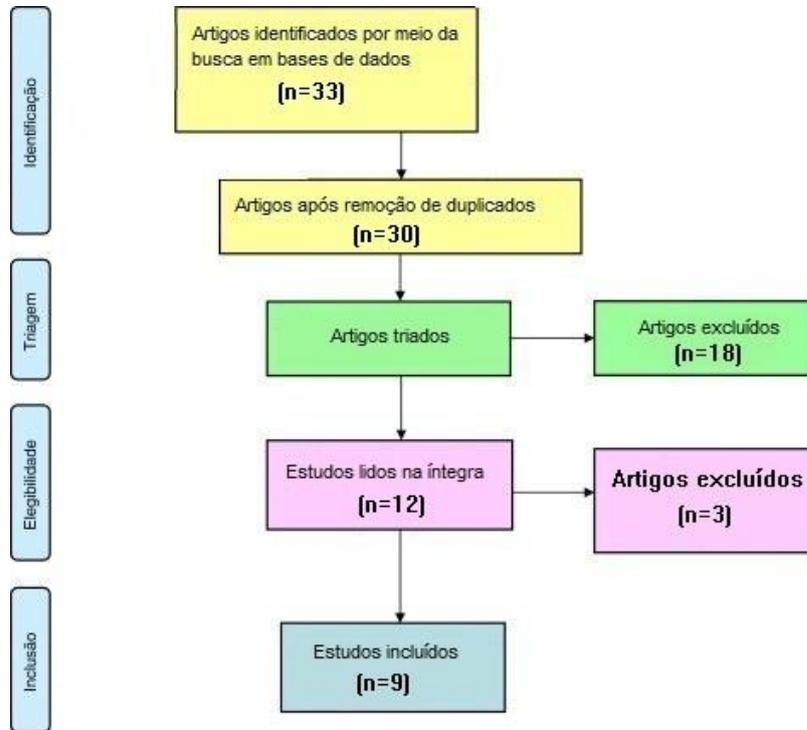
A respeito dos critérios de integração, foram inseridos os estudos que avaliassem especificamente a recuperação do calor residual em fornos de indústrias cerâmicas. Só foram considerados trabalhos que contivessem os fornos industriais cerâmicos e que houvesse aproveitamento do calor residual que esses fornos normalmente estariam dissipando para o meio ambiente. Artigos que trouxessem estudos de indústrias da construção civil, metalúrgicas, ou fábrica de alimentos, por exemplo, foram eliminadas por não tratar do direcionador escolhido que é forno industrial cerâmico.

Para o rastreamento dos estudos, e conforme os critérios de inclusão previamente definidos, a primeira etapa da revisão consistiu na leitura exploratória dos títulos e resumos de todos os documentos identificados nas buscas (manual e nas bases de dados), selecionando apenas aqueles que enfocavam o tema e tipo de estudo. Os estudos duplicados foram removidos. A segunda etapa da revisão compreendeu a leitura integral dos documentos, com detalhamento dos principais pontos a serem elencados e extração dos dados relevantes. A busca manual também foi realizada por meio da leitura das referências listadas nos estudos, para possível inclusão de outros estudos que não foram identificados inicialmente na busca eletrônica. Após estas etapas, constituiu-se um corpo para o estudo agrupando os temas mais abordados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os direcionadores de busca forneceram um total de 33 estudos. A busca em português retornou dois trabalhos, dos quais um ainda se encontra embargado e, portanto, não foi incluído na análise. A busca em inglês resultou em 31 trabalhos. É importante rememorar que, foi aplicado restrição de tempo de 5 anos para coletar as pesquisas mais atualizadas. Após triagem detalhada, nove estudos foram identificados para leitura completa. A Figura 3 mostra o sistema do processo utilizado na revisão, de acordo com a metodologia.

Figura 3 – Diagrama do processo de revisão.



Fonte: Elaborada pelo Autor (2022).

Seguindo o diagrama da figura 3, ao finalizar as análises, nove artigos corresponderam a todas as características envolvidas para a pesquisa, sendo estes: Chen et al (2018); Delpech et al (2018); Montorsi et al (2018); Vale (2018); Egilegor et al (2020); Oliveira et al (2020); Pilon et al (2020); Venturellia et al (2020); Frignani (2021). As pesquisas foram publicadas entre 2018 a 2021.

A presente pesquisa dedicou-se a inspecionar trabalhos relacionados com a recuperação do calor residual de fornos industriais cerâmicos que eram simplesmente dissipados ao meio ambiente. Para isso, os resultados irão se bifurcar em duas vias, sendo elas: A 1ª via é introduzir as pesquisas com o estudo feito sobre cogeração nas indústrias de cerâmica, mostrando como os estudiosos analisaram as melhores formas de aproveitamento, se conseguiram reduzir a energia ou mitigar o impacto ambiental. A 2ª via é uma construção dissertativa, por se tratar de uma bibliografia escassa e tão pouco explorada no meio acadêmico.

O trabalho de Chen et al. (2018), foi realizado em um forno de ceramsite na província de Henan, localizado na região central da China. Este tipo de material segundo Chen et al. (2018), é bastante utilizado na região nas indústrias de construção civil e petróleo. O estudo trata sobre a análise de energia que foi feita por meio de um teste experimental no forno. O objetivo de estudo foi analisar o consumo de energia e simular a recuperação do calor residual de um forno cerâmico. Diferente dos outros trabalhos citados anteriormente, o trabalho de Chen et al. (2018) utilizou a pesquisa em um pré-aquecedor ciclone para recuperar o calor residual. O software para fazer a modelagem foi o Fluent, o qual ficou responsável por realizar a simulação do desempenho.

O estudo de Delpech et al. (2018), analisa a aplicação de trocadores de calor a base de tubos para melhorar a eficiência energética dos processos industriais cerâmicos. O trabalho de Delpech et al. (2018) foi realizado no norte da Itália, mais especificamente na região de Emilia-Romagna. O modelo de pesquisa teórico foi construído baseado nas características de desempenho estabelecidas e comprovadas pela tecnologia de tubos de calor e no desempenho de processo cerâmico, o modelo teórico utilizado foi por simulação numérica. O trabalho de Delpech et al. (2018) está direcionado para avaliar três diretrizes no processo industrial cerâmico, dentre os quais são: Recuperação do calor residual que o forno pode oferecer; mitigar a quantidade combustível que seria aplicado a esse forno e reduzir os gases poluentes que são externados ao meio ambiente.

O uso de trocadores de calor de tubos de calor para recuperar o calor residual de fluxos de exaustão industrial tem sido investigado e aplicado em diversos setores como: siderurgia, alimentação e transporte. Os tubos de calor são definidos como uma tecnologia passiva de transferência de calor capaz de transferir grande quantidade de calor sem partes móveis Delpech et al. (2018). Um tubo de calor é composto por um tubo selado com fluido de trabalho atuando como o calor operadora. O fluido de trabalho é condensado na seção superior do tubo e evaporando na parte inferior, isso criará uma fase de duas fases ciclo de transferência de calor Jouhara et al. (2016).

Os estudos de Montorsi et al. (2018) foram realizados em uma indústria cerâmica localizada no norte da Itália, de forma mais precisa, na região de Emilia-Romagna. A pesquisa de Montorsi et al. (2018), irá analisar um forno industrial cerâmico, com o objetivo de melhorar a eficiência energética e o consumo de combustível, bem como a emissão de poluentes. Para isso o estudo foi realizado em duas partes. A primeira parte foi realizada através da dinâmica de fluidos comportamental (CFD), a qual serviu para simular o desempenho do forno sob condições reais de operação. Por meio do CFD é possível prever com veemência a distribuição de temperatura ao longo dos diferentes módulos do forno e a operação dos variados queimadores de gás natural empregados para fornecer a energia térmica necessária. Além disso, o CFD irá simular também a determinação dos coeficientes de transferência de calor entre as telhas e os componentes do sistema. A segunda parte do trabalho é um modelamento matemático que será utilizada para analisar os efeitos da recuperação dos gases de escape de uma turbina CHP unidade sobre a eficiência geral do forno. A indústria cerâmica é bem conhecida por ser caracterizada pela energia processos intensos e dentre eles, a queima cerâmica no forno é um dos principais responsáveis pelo consumo de energia primária. Regulamentos recentes para o consumo de energia limitam o uso de combustível ou eletricidade Agrafotis e Tiouts (2001) e, portanto, o design do forno desempenha um papel fundamental na atendendo aos requisitos do regulamento.

O trabalho de Vale (2018) foi o único trabalho em português. Sua pesquisa foi aplicada em um forno industrial cerâmico em Portugal. O objetivo da pesquisa era de aproveitar o calor residual fornecido pelo forno e reaplicar como forma de eficiência energética. A metodologia utilizada para calcular o potencial da recuperação dos gases de exaustão do forno foi o método do ponto de estrangulamento. A tecnologia aplicada para reter esse calor e reaproveitá-lo já foi citada anteriormente neste estudo, pesquisadores como Venturelli et al. (2020) e Egilegor et al. (2020), também utilizaram os tubos de calores (HPEP) como solução para reter esse calor. O trabalho de Vale (2018) não utilizou outra tecnologia, devido a decisões dos responsáveis pelo projeto, visto que os tubos de calor apresentaram compatibilidade com o projeto do forno e as demais tecnologias não conseguiram, seja por falta de conformidade, seja por incapacidade de

instalação na fábrica ou mesmo objetivo diferente do reaproveitamento do calor (produção de eletricidade). É importante observar que no estudo de Vale (2018) a aplicação de cogeração não apenas reaproveita a energia devido ao aproveitamento do calor residual do forno cerâmico, além disso uma grande quantidade de gases poluentes será evitada de ir para o meio ambiente e esse investimento na cogeração com a tecnologia correta para a planta fabril retornou para a empresa cerca de 900.000 Euros/ano.

No estudo de Egilegor et al. (2020), o objeto do trabalho é utilizar a cogeração na indústria automotiva, de fundição de aço e de revestimentos cerâmicos. A indústria cerâmica é localizada na Itália na cidade de Modena. O intuito é de recuperar um percentual que gira em torno de 40% de calor residual contidos no fluxo de exaustão e reutilizá-los de volta na planta industrial em vez de dispersá-lo para a atmosfera. A tecnologia utilizada para reter esse calor será a utilização de trocadores de calor de tubos de calor (HPEP). A utilização da ferramenta HPEP foi essencial nesse projeto devido as suas características-chave sobre trocadores de calor, além disso são fáceis para manusear e realizar manutenções com um intervalo curto de tempo. Segundo Egilegor et al. (2020), é possível recuperar calor nas fases de secagem e de queima do processo cerâmico. Os gases de escape da exaustão do forno possuem maior energia, sendo assim a melhor maneira para recuperar a energia residual, entretanto o processo de recuperação tem que ser feito com muita técnica e cuidado, pois os gases de exaustão do forno possuem poeira e poluentes que são muito agressivos, para solucionar esse problema a tecnologia HPEP foi implantada. É importante observar a preocupação das pesquisas realizadas na Europa com relação as indústrias, essa inquietação surge por conta da grande emissão de gases poluentes ao meio ambiente. A utilização de energia limpa é importante para a sustentabilidade, ou seja, para tentar salvar o planeta contra os gases do efeito estufa. Ademais, existe a questão econômica também que não seria mais necessário ficar tão dependente dos fornecedores de combustível fóssil, pois o valor deste produto está sempre variando e cada vez ficando mais caro.

A pesquisa de Oliveira et al. (2020) revisou estudos e maneiras de melhorias de eficiência energética, voltadas para o setor cerâmico. Sabendo que a recuperação de calor residual venha a ser uma excelente opção para o aumento de eficiência de energia, coube aos pesquisadores trabalharem mais sobre esse tema. O trabalho de Oliveira et al. (2020) foca nas tecnologias e estratégias que terão alto potencial para economizar energia e mitigar a emissão de dióxido de carbono ao planeta. Alguns exemplos incluem: queimadores de alta eficiência; reciclagem de ar quente de fornos para outros processos e instalação de trocadores de calor; e instalação de turbina a gás para aquecimento combinado e energia (CHP). Ao decorrer do estudo de Oliveira et al. (2020), foi percebido que direcionando de maneira correta os resultados são positivos, no entanto algumas limitações também surgiram no decorrer do caminho, sendo elas: elevado custo de investimento; bem como a natureza corrosiva do calor de exaustão disponível.

O trabalho de Pilon et al. (2020) possui uma abordagem diferente de todos os outros estudos citados nesta pesquisa. O estudo de Pilon et al. (2020), traz uma reflexão sobre a melhor metodologia de se aplicar a cogeração. Segundo Pilon et al. (2020) existem duas tecnologias de cogeração muito utilizadas nas indústrias cerâmicas, sendo elas: Topping e Bottoming. Por meio da cogeração Topping a energia disponibilizada pelo combustível é o primeiro aproveitamento que se dá para a geração de energia eletromecânica (altas temperaturas), e em seguida para o aproveitamento de calor útil, sendo o rejeito da geração elétrica no qual este calor poderá ser usado como uma fonte de energia para secadores situado no processo produtivo cerâmico. Já pela cogeração do tipo Bottoming a utilização é mais restrita, uma vez que o calor rejeitado pelos processos industriais se encontra em níveis de temperatura geralmente insuficientes para o seu emprego na produção de energia eletromecânica. Ao invés de descartá-

lo diretamente na atmosfera, este calor residual pode ser direcionado a um trocador de calor, para produção de vapor que alimentará uma turbina a vapor. Desta forma, a energia contida no combustível pode ser mais bem aproveitada, com o uso inicial em uma carga térmica e na sequência a produção de eletricidade num ciclo do tipo Bottoming. Piton et al (2020) enfatizam que o melhor processo a ser utilizado, será o que a indústria está apta para utilizar, cada projeto é único, então a tomada de decisão tem que ser tomada pela equipe de engenheiros responsáveis pelo projeto, a solução melhor será escolhida e os frutos também serão a posteriori.

O estudo de Venturelli et al. (2020) realiza uma modelagem matemática a um caso real de uma indústria cerâmica localizada em Modena, cidade Italiana situada na região de Emilia-Romagna, a qual utiliza trocadores de calor em forma de tubos (HPEP) para recuperar o calor residual do forno cerâmico. Além disso, Venturelli et al. (2020), demonstra que é a modelagem numérica completa dos sistemas de energia, pode ser uma ferramenta essencial para investigar potenciais soluções para melhorar o sistema considerado. O estudo foi feito com análise numérica e de simulação de um sistema transiente para investigar a eficiência energética em trocadores de calor baseados em tubo em uma indústria cerâmica. A fonte de calor residual a ser recuperada será nos gases de escape do forno. O interessante da modelagem matemática é que todos os componentes principais serão inclusos, sendo eles: o lado primário dos gases, o trocador de calor, o circuito secundário de calor e o dissipador de calor onde a energia térmica é explorada. A importância do trabalho de Venturelli et al. (2020), é muito interessante, pois ele analisa de forma matemática um estudo citado anteriormente neste mesmo trabalho que é o de Egilegor et al (2020), provando que os resultados reais obtidos na indústria cerâmica ficam bem próximos aos valores que o estudo por simulação e análise numérica forneceram. O software de análise foi o TRNSYS e além de comparar os dados reais com os simulados, ele ainda sugere os pontos fracos da operação, para que medidas sejam tomadas para não danificar o material, um exemplo disso foi o alerta que o software fez devido a queda de temperatura do escapamento, este tipo de situação não é recomendável que aconteça pois pode surgir incrustação e corrosão nas tubulações.

O estudo de Frignani (2021) é elaborado para realizar uma visão geral dos sistemas de recuperação de calor utilizados no setor de produção de revestimentos cerâmicos. A pesquisa de Frignani (2021) está voltada não apenas para uma cidade ou país específico, o seu trabalho visa uma aplicação para toda Europa, mostrando assim a sua preocupação de maneira macroscópica e não apenas de uma indústria específica, como são os casos de outras pesquisas citadas neste artigo. O projeto apresentado por Frignani é conhecido como DREAM, que significa projeto para recursos e eficiência energética em fornos cerâmicos, e o objetivo é justamente estudar novas possibilidades para reduzir os impactos ambientais no ciclo de produção cerâmica. Vários tipos de recuperação de calor residual foram avaliados no estudo de Frignani (2021), inclusive alguns já citados anteriormente neste artigo, dentre eles temos: Uso de microturbinas com calor e energia combinados; Modelagem matemática, simulação e controle de fornos; tecnologias de tubos de calor e recuperação de calor; e novos protocolos de software para configurar os parâmetros de trabalho dos fornos. O que fica bem explícito no trabalho de Frignani é que independente da maneira que for utilizar para recuperar esse calor residual, é preciso que seja feita uma estratégia concisa para que a fábrica não fique no prejuízo. Os parâmetros mais importantes têm que ser levantados e a alta cúpula deverá analisar o melhor para investir.

É interessante mencionar que os trabalhos aqui identificados (e não simplesmente selecionados) foram obtidos após procedimento metodológico sistemático e exaustivo, seguindo os termos de busca e critérios de inclusão e exclusão definidos. Apesar da relevância da recuperação de calor

na indústria cerâmica, foram identificados poucos trabalhos na base de dados consultada. Possivelmente existam mais trabalhos, porém não indexados em bases de dados ou mal descritos por meio de seus títulos. A revisão sistemática de literatura é muito importante não somente para definir bem o problema, mas também para obter uma ideia precisa sobre o estado atual dos trabalhos, suas lacunas, e a contribuição da pesquisa.

4 CONCLUSÃO

Após a inspeção dos periódicos apresentados, notou-se que os fornos industriais são muito importantes para a cogeração de energia. Com a recuperação do calor residual que era apenas expelidas ao ecossistema, sabendo utilizar as ferramentas adequadas, as indústrias poderão aproveitar melhor a energia que elas mesmos estão produzindo. É importante saber que com o aproveitamento da cogeração as indústrias saem ganhando em várias vertentes, por exemplo, reaproveitamento energético, sustentabilidade e economia de combustível.

O reaproveitamento energético foi demonstrado neste estudo de várias formas, várias pesquisas em todo o mundo trabalham de maneiras diferentes, porém com o mesmo objetivo que é aumentar a eficiência energética. Exemplos foram dados neste estudo como a utilização de trocadores de calores com tubos circulares, modelagem matemática e simulação aplicados a fornos de verdade, utilização de variados softwares para estudar os fornos cerâmicos por todos os locais, são ferramentas que irão facilitar a mensuração da perda energética e possíveis medidas que serão aplicadas para reaplicar a energia e sair beneficiado por isso.

A sustentabilidade passou de ser um diferencial para uma obrigação. As grandes empresas andam de mãos dadas com o desenvolvimento sustentável. O reaproveitamento de calor residual dos fornos cerâmicos evita milhares ou milhões de toneladas equivalentes de dióxido de carbono para o planeta. Além de poupar o planeta de gases poluentes, as empresas que investem na sustentabilidade podem utilizar essa quantia que foi poupada como crédito de carbono e negociar com as grandes empresas no mercado de carbono.

Com relação à economia de combustível se for utilizada de maneira concisa a eficiência energética derivada da cogeração dos fornos cerâmicos, a quantidade de energia que irá ser consumida no processo será bem menor, visto que será feito um reaproveitamento de energia que seria emitida para a atmosfera, e sendo reutilizada essa energia voltaria para o processo. Assim, as empresas iriam gastar menos dinheiro com energia e não precisariam ficar tão dependentes das companhias multinacionais de petróleo.

Finalmente, observa-se que houve poucos trabalhos identificados, e enfatiza-se a relevância do título, do resumo e das palavras-chave, já que os benefícios da disseminação do conhecimento científico são alcançados por meio da visibilidade, da apreciação e legitimação¹ dos trabalhos científicos. Também se ressalta a importância da indexação dos periódicos em bases de dados, para que a informação se torne visível à comunidade científica de forma rápida e sistemática.

¹ Professora Orientadora: Monica Carvalho

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade (309452/2021-0).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCERAM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Disponível em: <<https://www.abceram.org.br>>. Acesso em: 17 abr. 2022
- ANFANCER, - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. Disponível em: <<https://www.anfancer.org.br>>. Acesso em: 07 jun. 2022.
- BARBELLI, M.; C., 2015, A cogeração de energia e sua importância do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. **Empreendedorismo, Gestão e Negócios**, v.4, n.4, pp. 238-246.
- BORBA, R.A.P., 2002, Avaliação térmica e econômica de sistemas de cogeração aplicados a indústria de cerâmica de revestimento.
- BERG, E.A.T; NOGUEIRA, L.A.H., **Cogeração na indústria cerâmica**. 1996. Disponível em: <http://cerâmica.industrial.org.br>. Acesso em: 22 abr. 2022.
- BUSTAMANTE, M; BRESSIANNI, C., 2000, A indústria cerâmica brasileira. **Cerâmica Industrial**.
- CAGED, Cadastro Geral de Empregados e Desempregados. Disponível em: <https://www.gov.br>: Acesso em 08 jun. 2021.
- CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Disponível em: <https://cbic.org.br>: Acesso em 04 de abril. 2021
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Estabelece os requisitos necessários à qualificação de centrais c8geradoras de energia e dá outras providências. Resolução n. 21, de 20 de janeiro de 2000. Lex: Diário Oficial de 24 de janeiro de 2000, Seção 1, p.36, v. 138, n. 16. Disponível em: Acessado em: jul. 2001.
- AGRAFIOTS, C; TSOUTSOS, T; Energy saving technologies in the European ceramic sector: a systematic review, *Appl. Therm. Engeniering*. 21 (2001) 1231–1249.
- CHEN, Z; ZHOU, Y; QIN, C; ZHANG, X, 2018, Energy consumption analysis and simulation of waste heat recovery technology of ceramic rotary kiln. **Energy**. doi:10.1088/1757-899X/322/4/042029
- DELPECH, B; MILANI, M; MONTORSI, L; BOSCARDIN, D; CHAUAN, A; ALMAHMOUD, S; AXCELL, B; JOUHARA, H., 2018, Energy efficiency enhancement and waste heat recovery in industrial processes by means of the heat pipe technology: Case of the ceramic industry. **Energy**.
- EGILEGOR, B., JOUHARA, H., ZUAZUA, J., Al-Mansour, F., PLESNIK, K., MONTORSI, L., & MANZINI, L., 2020, Analysis of the potential for waste heat recovery in three sectors: Aluminium low pressure die casting, steel sector and ceramic tiles manufacturing sector. **International Journal of Thermofluids**.

- EUROPEAN COMISSION, Reference Document in the Ceramic Manufacturing Industry, 2007. European Commission. LIFE and energy intensive Industries. 2018. Disponível em: https://ec.europa.eu/environment/archives/life/products/factsheet_eii_web.pdf. Acesso em: 21 mar. 2022.
- FRIGNANI, G., 2021, Heat Recovery in the Ceramic Tile Production Cycle. In: Interceram – **International Ceramic Review**.
- H. JOUHARA; N. KHORDEHGAH; S. ALMAHMOUD; B. DELPECH; A. CHAUHAN, S.A. TASSOU., 2018, Waste heat recovery technologies and applications, **Therm. Sci. Eng. Prog.** n 6, p. 268-289.
- H. JOUHARA; CHAHUAN. A; NANNOU T; ALMAHMOUD S; DELPECH B., 2017, Wrobel LC. Heat pipe-based systems - advances and applications. **Energy**. pp. 128:729-754. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.028>.
- MONTORSI, L; MINALIB, M; STEFANIB, M; TERZIB, S., 2018, Numerical analysis of the exhaust gases recovery from a turbine CHP unit to improve the energy efficiency of a ceramic kiln. **Thermal Science and Engineering Progress**.
- OLIVEIRA, M. C; ITEN, M; CRUZ, P. L; MONTEIRO, H., 2020, - Review on energy efficiency progresses, Technologies and strategies in the ceramic sector focusing on waste heat recovery. **Energies**.
- PEREIRA, A.S., 2018, Metodologia da pesquisa científica [recurso eletrônico]. Ed 1. UFSM, NET, Santa Maria.
- PILON, A; DA LUZ, G; DIAS, L. P; MADEIRA, T. M; RAMPINELLI, W; TASSIL, R; CITTADIN, T. A., 2020, Sistema de cogeração de energia. Simpósio de Integração Científica e tecnologia do sul Catarinense.
- SAMPAIO, D. O. A; ASSUNÇÃO.C.C; AKASAKI, J.L., 2020, A construção civil sob o ponto de vista da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida – revisão. **Revista Anap Brasil**.
- SILVA, R. B. D. S., 2021, **O desempenho energético e ambiental da indústria portuguesa de cerâmica**, MsC, Dissertação, Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- VALE, ANDRÉ ALEXANDRE; **Estudo da recuperação de calor residual e sua aplicação à indústria cerâmica**, MsC, Dissertação – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Porto, 2018.
- VENTURELLI, M; BHROUG, D; MILANI, M; MONTORSI, L; JOUHARA, H., 2020, Comprehensive numerical model for the analysis of potential heat recovery solutions in a ceramic industry. **International Journal of Thermofluids**.