

Produção mais limpa: contributos teórico-práticos para a sustentabilidade da cerâmica vermelha

(Cleaner production: practical and theoretical contributions for the sustainability of the red ceramic)

R. G. da Silva, V. P. da Silva

Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Av. Sen. Salgado Filho 1559, Natal, RN 59015-000
robsontecnologo@yahoo.com.br, valdenildo.silva@ifrn.edu.br

Resumo

Sustentabilidade tem sido, na atualidade, um termo com crescente utilização no segmento da cerâmica vermelha ou estrutural brasileira, setor em que abordagens como a produção mais limpa (P+L) podem vir a contribuir, uma vez que suas técnicas visam prevenir a geração de desperdícios e de resíduos ao longo do ciclo de vida de produtos e processos. Nessa perspectiva, este estudo buscou analisar a literatura acerca dos temas produção mais limpa, sustentabilidade e cerâmica vermelha, almejando contribuir por meio de elementos teórico-práticos para o aprimoramento sustentável da produção desse ramo fabril. Além disso, objetivou desvendar lacunas e desafios para futuros estudos que envolvam as temáticas citadas. A metodologia foi fundamentada em dados bibliográficos, documentais e de sítios eletrônicos (nacionais e estrangeiros). Para tanto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica de artigos científicos no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), em que foram selecionados e analisados 23 artigos em um período de cinco anos, a fim de identificar e classificar as técnicas de P+L propostas e, por fim, discutir suas contribuições para a sustentabilidade do setor. Os resultados apontaram que houve vários avanços, mas que ainda restam hiatos e desafios relevantes a serem superados.

Palavras-chave: produção mais limpa, sustentabilidade, cerâmica vermelha.

Abstract

Sustainability has been a term with increasing use in the Brazilian segment of the red or structural ceramic, sector where approaches such as cleaner production (CP) could contribute, since their techniques aim to prevent waste and residue generation along the life cycle of products and processes. In this perspective, this study analyzed the literature about the cleaner production, sustainability and red ceramics, aiming to contribute by theoretical and practical elements for the sustainable improvement of the production of this industrial branch. In addition, it was aimed to search uncover gaps and challenges for future studies involving the above themes. The methodology was based on bibliographic data, documents and electronic sites (Brazilian and foreign). For this, after making a literature survey of scientific articles in the site "Portal de Periódicos" from Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), 23 articles were selected and analyzed over a period of five years, in order to identify and classify technical CP proposals and finally discuss their contributions to the industry's sustainability. The results showed that there were many advances, but relevant gaps and challenges remain to be overcome.

Keywords: cleaner production, sustainability, red ceramic.

INTRODUÇÃO

Neste limiar de século, não se pode deixar de enfatizar que a história da relação das organizações industriais com o meio ambiente ainda tem sido de grandes impactos ambientais, afetando o futuro da humanidade e do planeta quanto ao uso insustentável dos recursos naturais e à saúde humana. Os desperdícios e a geração de resíduos de grande monta em praticamente todas as fases da produção evidenciam a enorme ineficiência dos processos produtivos, comprometendo as condições de vida das pessoas e o seu ambiente vivencial. Tal situação de insustentabilidade de recursos na-

turais passou a ser percebida a partir do estudo exploratório realizado na indústria de cerâmica vermelha denominada Villar Produtos Cerâmicos, localizada na zona rural do município de Tangará-RN. Nessa empresa, viu-se que a geração de desperdícios e resíduos, principalmente nos processos de extrusão, corte, secagem e queima, consistem em um problema a ser superado por meio de abordagens mais sustentáveis. Não se pode negar que o ramo industrial da cerâmica vermelha ou estrutural tem sua parcela de contribuição na deterioração da qualidade ambiental, pois ainda existem inúmeras indústrias que perseguem o controle da poluição (utilizando técnicas do tipo fim de tubo) em detrimento de

uma produção mais limpa e preventiva, que produz com menos desperdícios de matéria-prima, insumos e outros materiais utilizados nos processos de produção de cerâmicos. Em certa medida, desperdícios e geração de resíduos, no âmbito da indústria de cerâmica vermelha brasileira, podem estar atrelados às grandes dimensões desse ramo industrial, que é representado atualmente por 4,8% da indústria da construção civil, possuindo cerca de 9071 empresas, que produzem cerca de 71 bilhões de peças por ano, sendo responsável por mais de 90% das coberturas de telhado e paredes de blocos de vedação do país. As empresas do setor cerâmico têm faturado aproximadamente R\$ 21 bilhões por ano e gerado mais de 400 mil empregos diretos [1, 2]. Contudo, destaca-se que os desperdícios e resíduos gerados possam estar diretamente relacionados às opções de produção despreocupadas com a sustentabilidade. Esse segmento industrial tem apresentado uma estrutura empresarial diversificada, na qual há a prevalência de empreendimentos familiares de pequeno e médio porte com deficiências de mecanização e gestão, bem como de empreendimentos de médio a grande porte com algumas inovações tecnológicas modernas [3]. O processo produtivo da cerâmica vermelha se inicia com a extração da argila (matéria-prima), seguida pela estocagem, alimentação, desintegração, homogeneização ou mistura da argila, laminação, extrusão, corte (para blocos de vedação e lajotas), prensagem (para telhas), secagem, queima e estocagem de produtos para expedição ou venda [4]. Tal processo utiliza como principais insumos, além da argila (sua principal matéria-prima), água, lenha, energia térmica e energia elétrica [5].

Na busca por uma melhor produtividade e sustentabilidade, o setor de cerâmicos vermelhos tem procurado aderir ao Programa Setorial da Qualidade (PSQ) do governo federal e à participação em projetos como o Cerâmica Sustentável é + Vida, cujo o propósito é implantar a gestão empresarial, a inovação tecnológica, a eficiência energética e o licenciamento ambiental que permitam a incorporação e o tratamento de resíduos sólidos nos processos produtivos das empresas do segmento [1]. Ressalta-se que uma das inovações no setor ceramista tem sido o uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos, como telhas e blocos, em comparação com a produção de concreto [1], visando a identificação comparativa de maior degradador ambiental. Por meio dessa avaliação comparativa, viu-se que a produção de cerâmicos, principalmente de telhas e blocos, tem gerado menos impactos ambientais sobre o esgotamento de recursos naturais e alterações climáticas do que os produtos de concreto [2]. Nesse contexto, entende-se que a preocupação do setor industrial da cerâmica na busca por estratégias ou abordagens ambientais que melhorem os desempenhos produtivos tem mudado. Tem sido crescente o interesse na sustentabilidade, recorrendo a termos como produção mais limpa (P+L), controle de poluição, ecoeficiência, gestão ambiental, responsabilidade social, economia verde e produção sustentável [6]. No entanto, o termo produção mais limpa (P+L) pode, sobretudo, ser aquele que melhor contribui para os anseios de uma produção de cerâmicos vermelhos mais sustentáveis.

Isso se deve ao fato de, a priori, verificar-se que as técnicas de fim de tubo não mitigam nem reduzem desperdícios e resíduos na fonte. O termo P+L que, a fim de evitar ou minimizar os riscos à saúde e ao meio ambiente, tem como intuito elevar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia por meio da não geração de resíduos, bem como prevenir a poluição na fonte, isto é, ao longo de processos produtivos, foi definido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em 1989 como uma estratégia de resposta à abordagem de tratamento de fim de tubo, que visa tão somente ao tratamento da poluição antes de lançá-la ao meio ambiente, ou seja, no fim de processos [7].

No curso dos últimos anos, inúmeros artigos têm sido publicados tratando de abordagens ambientais, visando reduzir custos com a eliminação de desperdícios e desenvolver tecnologias limpas e acessíveis do ponto de vista econômico. Contudo, percebe-se que poucos têm sido os que discutem a implementação de técnicas de P+L no âmbito da indústria de cerâmica vermelha ou estrutural como uma abordagem sustentável. Por isso, enfatiza-se a pertinência deste estudo, uma vez que se debruça sobre a literatura existente acerca da produção mais limpa e da cerâmica vermelha, enfatizando os liames que dada relação teórico-conceitual pode trazer para a realidade concreta da indústria de cerâmica vermelha rumo a uma gestão de produção mais limpa. Face às literaturas existentes e consultadas, coloca-se a seguinte questão como o problema da pesquisa: que contribuições a implementação da P+L pode trazer para a sustentabilidade da cerâmica vermelha? Nessa perspectiva, o presente estudo objetivou analisar a literatura acerca dos temas produção mais limpa, sustentabilidade e cerâmica vermelha, almejando contribuir por meio de elementos teórico-práticos para o aprimoramento sustentável da produção desse ramo fabril. Além disso, objetivou desvendar lacunas e desafios para futuros estudos que envolvam as temáticas supracitadas. No que concerne à estrutura organizacional, este artigo, além desta introdução, possui as seguintes seções: metodologia, referencial teórico, resultados e discussão, conclusões e referências.

METODOLOGIA

Este estudo partiu de uma pesquisa bibliográfica e documental [8], caracterizada como descritiva, à medida em que se realizou uma análise de várias obras literárias e de documentos nacionais e internacionais sobre os temas norteadores deste artigo: produção mais limpa (P+L), sustentabilidade e cerâmica vermelha. Para tanto, foram consultados livros de bibliotecas, manuais e relatórios em *sites* da internet e em artigos científicos, estes consultados a partir das bases de dados do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O levantamento de literatura que apresentou discussões sobre as principais contribuições da produção mais limpa (P+L) para a sustentabilidade da cerâmica vermelha foi realizado pela busca de assuntos neste portal. As palavras-chave utilizadas para dado levantamento foram variadas entre estes termos: produção mais limpa, sustentabilidade, cerâmica

vermelha, cerâmica estrutural, lodo de estação de tratamento de água, lodo de gemas, lodo galvânico, rejeito de rocha ornamental, cinza de bagaço de cana de açúcar, cinza de carvão mineral, queima rápida, chamote, resíduo de cerâmica vermelha, vidro, telha cerâmica, bloco cerâmico, resíduos, reciclagem, reuso, eficiência energética, argila e massa argilosa. Após as buscas, selecionaram-se artigos publicados em revistas nacionais e internacionais entre os anos de 2011 e 2016 (até junho), os quais foram fichados e analisados criticamente conforme os seguintes critérios: i) pesquisas aplicadas com finalidades voltadas a resolver problemas concretos propondo soluções [8]; e ii) pesquisas com propostas ou aplicações de técnicas que se alinhavam às definições de técnicas de P+L.

Em seguida, selecionaram-se 23 artigos que atenderam a tais critérios. Depois, identificaram-se as 6 classificações de técnicas de P+L propostas nos artigos, quais sejam: mudanças no produto (MP); boas práticas operacionais (BPO); mudanças de matérias-primas ou insumos (MPPI); mudanças tecnológicas de processo (MTP); reuso ou reciclagem interna (RRI); e reuso ou reciclagem externa (RRE). Logo após, elaborou-se um gráfico para representar a distribuição percentual dessas classificações nos artigos. Posteriormente, demonstraram-se as referências dos 23 artigos elencados, assim como o ano de publicação, as técnicas de P+L propostas e suas respectivas classificações. Por fim, os resultados de cada um dos artigos foram apresentados e discutidos conforme as classificações de técnicas de P+L neles contidas. A esse respeito, a discussão pautou-se nas técnicas de P+L propostas, classificando-as de acordo com seu nível de prioridade (redução de desperdícios na fonte, reciclagem interna e reciclagem externa) e seu foco (no produto, processo ou resíduo). Concomitantemente, problematizaram-se as contribuições dessas técnicas de P+L para a sustentabilidade da cerâmica vermelha.

REFERENCIAL TEÓRICO

Na presente seção são elucidadas as definições de produção mais limpa (P+L), técnicas de P+L, sustentabilidade e suas características e, por fim, cerâmica vermelha com suas respectivas etapas e processos produtivos.

Produção mais limpa (P+L)

A definição clássica de produção mais limpa (P+L) é apresentada como uma “aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada a processos, produtos ou serviços, para aumentar a eficiência e reduzir os riscos à saúde humana e ao meio ambiente” [9]. Essa definição, que surge em resposta à mudança de atitude que as organizações industriais têm de demonstrar na atualidade, no sentido de se buscar práticas produtivas mais sustentáveis, tem sido utilizada para os programas relacionados à promoção da P+L e ainda permanece válida [10]. Nesta contemporaneidade, percebe-se que as tecnologias de fim de tubo não atendem mais aos anseios da sociedade na busca pela sustentabilidade. Abordagens ambientais convencionais que procuram atender às exigências ambientais legais, além de extremamente onerosas para as empresas do ponto de vista socioeconômico, deixam de ser percebidas como única alternativa para aprimorar o desempenho ambiental. As ações de fim de tubo são diferentes das de P+L (Tabela I). Ou seja, a primeira se dedica à solução do problema sem questioná-lo, enquanto a segunda conta com um estudo direcionado às causas da geração do resíduo e à sua compreensão.

Em [12] afirma-se que a solução tecnológica do tipo fim de tubo segue atrás dos prejuízos ambientais causados por um sistema produtivo, corrigindo os seus efeitos sem combater as causas que os produziram. Em sentido contrário, as técnicas de P+L contemplam mudanças nos produtos e processos produtivos a fim de reduzir ou eliminar

Tabela I - Ações de fim de tubo versus ações de produção mais limpa [11].

[Table I - End-of-pipe actions versus cleaner production actions [11].]

Fim de tubo	Produção mais limpa (P+L)
Pretende reação	Pretende ação
Os resíduos, os efluentes e as emissões são controlados através de equipamentos de tratamento	Prevenção da geração de resíduos, efluentes e emissões na fonte; procura evitar matérias-primas potencialmente tóxicas
Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes	Proteção ambiental é tarefa para todos
A proteção ambiental atua depois do desenvolvimento dos processos e produtos	A proteção ambiental atua como uma parte integrante do design do produto e da engenharia de processo
Os problemas ambientais são resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico	Os problemas ambientais são resolvidos em todos os níveis e em todos os campos
Não tem a preocupação com o uso eficiente de matérias-primas, água e energia	Uso eficiente de matérias-primas, água e energia
Leva a custos adicionais	Ajuda a reduzir custos

todo tipo de rejeitos antes de sua geração. Muitas têm sido as definições sobre o termo P+L, gerando ambiguidades e incongruências temáticas. O emprego desse termo pode configurá-lo como um processo, uma estratégia ou uma abordagem. Por exemplo, em [13] define-se P+L como “o desenvolvimento de processos e produtos industriais com o objetivo de reduzir os resíduos, minimizando os riscos ao meio ambiente e fazendo uso eficiente dos recursos e matérias-primas”. Em [14], por sua vez, define-se P+L como um processo de melhoria contínua que visa o uso eficiente dos recursos naturais, buscando evitar os impactos ambientais negativos dos processos, produtos ou serviços, gerando benefícios econômicos e mudança organizacional. Por outro lado, a P+L pode ser compreendida como “uma estratégia preventiva para minimizar o impacto da produção de produtos ao meio ambiente” [15]. Em [16] é ressaltado que a P+L é uma estratégia de desenvolvimento e implementação de inovações preventivas, maximizando o uso eficiente de matéria-prima, energia e água, minimizando assim a geração de resíduos ou materiais nocivos. Em [17] assinala-se que a P+L é “uma estratégia que gera oportunidades, buscando melhorias no que diz respeito às boas práticas operacionais, às entradas de materiais, aos equipamentos e tecnologia, no design de produto e na gestão de saídas de não produtos”. Em [6] entende-se que a P+L consiste em uma abordagem sistemática e organizada para as atividades de produção, que busca efeitos positivos sobre o meio ambiente por meio da minimização do uso de recursos, melhoria da ecoeficiência e redução na fonte, gerando proteção ambiental e redução de riscos aos organismos vivos. Nesse caso, os autores a classificam como uma abordagem ao invés de uma estratégia, tendo em vista que o segundo termo é semanticamente mais abrangente que o primeiro. As estratégias no âmbito de termos de sustentabilidade englobam, por exemplo, os termos de ecologia industrial, como prevenção à poluição (P2) e sistemas de gestão ambiental (SGA). As abordagens, por outro lado, englobam termos menos abrangentes como controle da poluição, P+L, avaliação do ciclo de vida (ACV) e ecodesign [6].

Assim, na óptica de [18], a P+L é uma abordagem na produção, que exige que as fases do ciclo de vida de um produto ou de um processo devem ser acompanhadas com o objetivo de prevenir ou minimizar os riscos para os seres humanos e o meio ambiente. Por conseguinte, em [19] define-se P+L como uma abordagem integrada e sistêmica que inclui mudanças organizacionais de produção e de processos em busca de uma melhoria contínua. Portanto, considerando a definição consagrada de P+L da UNEP e as demais definições levantadas na revisão de literatura, permite-se afirmar que no contexto da produção da cerâmica vermelha a P+L pode ser considerada uma abordagem preventiva e integrada a processos e produtos que visa ao uso eficiente de insumos e à redução de desperdícios, podendo gerar benefícios socioeconômicos e ambientais. Com base nisso, destaca-se que ambiguidades e incongruência também ocorrem no tocante ao uso do termo técnicas de P+L, cujas definições são discutidas abaixo.

Técnicas de produção mais limpa (P+L): são um conjunto de meios para atingir os objetivos da P+L [9, 11, 20, 21]. Outros termos como princípios [22], opções [18, 15, 23-25] e práticas [17, 20] são geralmente encontrados na literatura e nos manuais de orientações sobre P+L com essa definição. No entanto, neste artigo o termo “técnicas de P+L” foi adotado porque semanticamente é mais apropriado, visto que uma técnica é um conjunto de processos baseado em conhecimentos científicos utilizados para obter certo resultado [26]. Para alguns autores [9, 20, 22, 25], existem 5 categorias ou classificações de técnicas de P+L, quais sejam: mudanças no produto, boas práticas operacionais, mudanças de matérias-primas ou insumos, mudanças tecnológicas de processo e reuso ou reciclagem interna (dentro do processo industrial). Já para outros [11, 23, 27], além dessas 5 classificações, há mais uma: o reuso ou reciclagem fora do processo industrial. Esta reciclagem tem sido adotada como uma técnica de P+L em virtude de alguns países, como é o caso do Brasil, terem demonstrado potencial para a reciclagem, bem como a existência de pessoas que dependem dessa prática [23]. Portanto, neste artigo entende-se, em dissonância com os autores citados, que existem 6 classificações de técnicas de P+L: i) *mudanças no produto*: consistem em mudanças de projeto (forma ou design) ou composição de um produto com o objetivo de expandir sua vida útil, facilitar sua reparação e amenizar seu prejuízo ao meio ambiente durante todo o seu ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima até a sua disposição final [11, 28]; ii) *boas práticas operacionais*: consistem em mudanças operacionais, de procedimentos, de gestão em uma organização para reduzir desperdícios. Boas práticas operacionais podem frequentemente ser implementadas a baixo custo e em todos os setores de uma organização, incluindo: melhorias de logística de compra, estocagem, e distribuição de matéria-prima e materiais auxiliares; mudanças na dosagem de matéria-prima; elaboração de manuais de boas práticas operacionais; e treinamento de pessoas [11]; iii) *mudanças de matérias-primas ou insumos*: consistem em mudanças que buscam eliminar ou reduzir a entrada de matéria-prima e insumos perigosos, bem como evitar a entrada de materiais não perigosos, mas que geram resíduos perigosos no processo. Também podem ser mudanças que objetivam a reciclagem de resíduos de outras indústrias como matéria-prima, uso de matéria-prima biodegradável ou com o tempo de vida útil mais longo [11, 28]; iv) *mudanças tecnológicas de processos*: consistem em mudanças tecnológicas de processo ou de equipamentos para reduzir os desperdícios na produção. Podem variar desde mudanças menores, implementadas em questão de dias com baixo custo, até a substituição de processos que envolvam grandes custos [11]; v) *reuso ou reciclagem interna*: consiste no retorno dentro do processo industrial com ou sem tratamento de um material residual, ou para o processo que o originou ou para outro processo, como material de entrada ou outra utilização na própria organização [11, 23]; vi) *reuso ou reciclagem externa*: consiste no uso de um material residual com ou sem tratamento para outro processo industrial fora da organização [23].

As técnicas de P+L podem ser classificadas também, quanto aos seus meios de ação, em 3 níveis de prioridade. O primeiro se refere à redução na fonte, ou seja, contempla técnicas que visam reduzir os desperdícios na fonte, a saber: mudanças no produto, boas práticas operacionais, mudanças de matérias-primas ou insumos e mudanças tecnológicas de processos. O segundo se refere à reciclagem interna por meio da técnica de reuso ou reciclagem interna. Por fim, quando não é possível adotar técnicas de níveis 1 ou 2, deve-se optar pelo terceiro nível, a reciclagem externa por meio do reuso ou reciclagem externa [11]. Na fabricação de produtos, as técnicas de P+L podem ter 3 focos, no produto, processo ou resíduo. Para o produto, podem ser adotadas as técnicas de mudanças no produto; para o processo, as técnicas de boas práticas operacionais, mudanças de matérias-primas ou insumos, mudanças tecnológicas de processos e reuso ou reciclagem interna; e para o resíduo, pode ser adotada a técnica de reuso ou reciclagem externa. Para maior apropriação da aplicação das técnicas de P+L, seus níveis de prioridades e seus focos, tem-se na Fig. 1 a representação dessas técnicas aplicadas a um determinado processo produtivo, ilustrando a distinção entre as orientações das técnicas de P+L em detrimento do controle da poluição (tratamento de fim de tubo).

A Fig. 1 apresenta as principais técnicas de P+L aplicadas na indústria A. Essas técnicas são orientadas para a prevenção de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos), priorizando sua redução na fonte desde a concepção do projeto (forma ou

design) do produto até os processos produtivos. Por outro lado, na indústria B é aplicado o tratamento de fim de tubo ao controle da poluição, orientado a se preocupar somente com o tratamento de resíduos gerados nos processos e sua disposição final adequada no meio ambiente. Em suma, a vantagem ambiental relativa é maior à medida em que são adotadas técnicas de P+L voltadas para reduzir os desperdícios na fonte com foco no processo e sobretudo com foco no projeto do produto, tendo em vista que esse último pode ser considerado a maneira mais preventiva de evitar ou reduzir desperdícios e resíduos ao longo do ciclo de vida de um produto. Entende-se, portanto, que a aplicação de P+L em qualquer organização industrial, a exemplo da indústria de cerâmica vermelha, tem como intuito sobretudo buscar a sustentabilidade do processo produtivo, focando-se no uso de técnicas que sigam uma produção mais limpa. Assim, faz-se necessário discutir o termo sustentabilidade na próxima seção.

Sustentabilidade

A palavra sustentabilidade, originária do latim *sustentare*, significa sustentar, suportar, conservar em bom estado, manter, resistir. Sendo assim, tudo aquilo que seja capaz de ser suportado ou mantido é considerado sustentável [29]. Na atualidade, é crescente o uso do termo sustentabilidade devido ao aumento da consciência sobre a sua importância. Contudo, existem várias definições, abordagens (conforme o campo de aplicação), equívocos e mal-entendidos que rodeiam esse termo [6, 30]. Este artigo não entra no mérito de discutir tais problemas, mas apresenta uma definição para o termo e suas principais características. O termo sustentabilidade pode ser definido como uma relação dinâmica entre o sistema econômico e o sistema ecológico, que é maior e com taxa de mudanças mais lenta, em que a vida humana pode continuar indefinidamente a se desenvolver culturalmente dentro de certos limites. Para tanto, deve-se assegurar a diversidade, a complexidade e a função do sistema de suporte de vida ecológico [31]. Em consequência disso, tal definição pressupõe que para ocorrer o desenvolvimento e o bem-estar das presentes e futuras gerações, é fundamental assegurar as condições que suportam a vida no planeta.

As técnicas de produção mais limpa (P+L), já discutidas, podem otimizar o uso de recursos em todos os componentes do sistema de produção e em todo o ciclo de vida do produto, contribuindo para atingir a sustentabilidade de um sistema. Três princípios sustentáveis fundamentais destacam claramente o papel da P+L para a sustentabilidade: a sustentabilidade é obtida por meio da minimização dos desperdícios; a melhoria da qualidade da produção ajuda a aumentar a sustentabilidade; e a sustentabilidade é mais facilmente alcançada implementando melhores sistemas [32]. A sustentabilidade de qualquer sistema, como o da indústria de cerâmica vermelha, pode apresentar características fundamentais, que serão elencadas a seguir.

Características da sustentabilidade: pode-se dizer que a

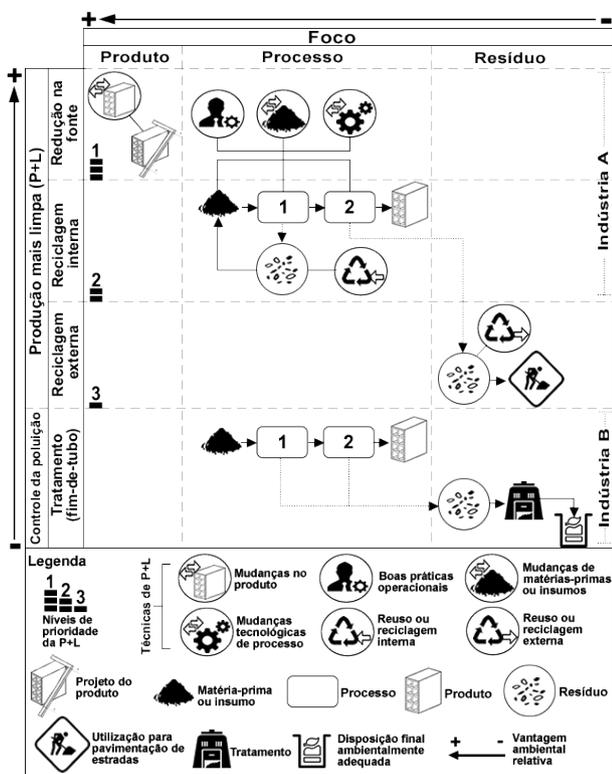


Figura 1: Aplicação de técnicas de P+L em processos produtivos, adaptado de [11, 23].

[Figure 1: CP application techniques in the productive processes, adapted from [11, 23].]

sustentabilidade apresenta 7 características principais. A primeira se refere ao seu objetivo fundamental, que é repassar para as gerações futuras um estoque de capital (natural, cultural, manufaturado e cultivado) que seja pelo menos tão grande quanto ao que nossa própria geração herdou das gerações anteriores [33]. A segunda é que a sustentabilidade é multidimensional, ou seja, integra ao menos as dimensões econômica, ambiental e social [30]. A dimensão econômica é a manutenção de capital natural, uma condição fundamental para não haver decréscimo econômico. A dimensão ambiental é a desmaterialização da atividade econômica, uma vez que a diminuição do processamento de material pode reduzir a pressão sobre os sistemas naturais e ampliar a prestação de serviços ambientais [34]. A dimensão social é a homogeneidade social, rendimentos justos e acesso a bens, serviços e emprego [35]. A terceira é de que a sustentabilidade é um princípio aplicável a sistemas como os sistemas industriais (transporte, produção, energia), os sistemas sociais (urbanização, mobilidade, comunicação) e os sistemas naturais (solo, atmosfera, sistemas aquáticos e bióticos), incluindo os fluxos de informações, bens, materiais e resíduos. Portanto, a sustentabilidade envolve uma interação com sistemas dinâmicos que estão em constante mudança e necessitam de medidas proativas [30]. A quarta é que a sustentabilidade pode ocorrer em vários níveis territoriais, ou seja, local, regional e global, pois o que pode ser considerado sustentável em nível local não é necessariamente em nível regional, por exemplo [30]. A quinta é a relação de causalidade entre as dimensões, isto é, uma melhoria (ou piora) no desempenho de uma dimensão pode levar a mudanças em outras dimensões e vice-versa [30]. A sexta é que a sustentabilidade é avaliada por meio de sistemas de indicadores e índices que são distribuídos nas dimensões econômica, ambiental e social, por exemplo [30]. A sétima, por fim, é que a avaliação de sustentabilidade é sempre comparativa e pode ser de duas formas: comparação de um sistema com outro(s) ou comparação de um sistema com ele mesmo, também chamado de *per se* [36]. Por exemplo, a avaliação de sustentabilidade comparativa com outro sistema ocorre quando se pretende avaliar se é mais sustentável a produção de telha cerâmica na empresa X ou na Y. O resultado de que a produção de telha cerâmica na empresa X é mais sustentável que na empresa Y é obtido com base em um valor mensurado pelos sistemas de indicadores ou índices escolhidos para realizar tal avaliação em um determinado tempo. Já uma avaliação de sustentabilidade *per se* ocorre quando se pretende avaliar se é sustentável a produção de telha cerâmica na empresa X. O resultado é sim ou não, com base em um valor mensurado pelos sistemas de indicadores ou índices escolhidos para realizar tal avaliação em um determinado tempo. Na avaliação *per se*, o fator tempo é fundamental para estabelecer um ponto de comparação, pois quando se compara um sistema com ele mesmo a única forma de fazê-lo é pelo tempo [36].

Cerâmica vermelha

A palavra cerâmica, originária do grego “*kerameikos*” (feito de terra), pode ser definida tecnicamente como

qualquer produto obtido pela mistura, moldagem e queima de matérias-primas minerais com características e propriedades específicas adequadas à fabricação do produto desejado [37]. Cerâmica vermelha é o termo usado para designar produtos caracterizados pela coloração avermelhada ocorrida após o processo de queima, nos quais incluem-se os materiais para construção como blocos cerâmicos de vedação e estruturais, telhas, manilhas, tabelas e lajotas [37]. A indústria de cerâmica vermelha integra o ramo de produtos do setor de transformação de não metálicos, junto com outras indústrias, cuja boa parte está ligada diretamente à cadeia produtiva da construção civil, como a indústria de cimento, cerâmica de revestimento, louças sanitárias e de mesa, vidro, cal e gesso [3]. A sustentabilidade na indústria de cerâmica vermelha pode ser melhor compreendida por meio da descrição de suas etapas e de seus processos produtivos, bem como dos insumos utilizados ao longo desses processos, conforme é apresentado a seguir [38].

Etapas e processos produtivos da cerâmica vermelha: o processo produtivo da cerâmica vermelha se inicia com a extração da argila na jazida. A argila é um mineral natural, terroso e de granulometria fina (0,002 mm), que misturado à água adquire certa plasticidade, quando seca endurece e quando cozida enrijece, sendo de difícil desagregação por simples pressão de pequena intensidade [5]. Após a extração da argila na jazida, de seu transporte e estocagem na indústria de cerâmica vermelha, 3 etapas seguintes estão sempre presentes na fabricação de produtos cerâmicos vermelhos: a preparação da matéria-prima, a conformação (ou moldagem) e o tratamento térmico [39]. A Fig. 2 demonstra de um modo geral as etapas e os processos produtivos de uma indústria de cerâmica vermelha. Na etapa de preparação da matéria-prima são realizados os seguintes processos: i) preparação da massa argilosa: separação das argilas estocadas e sazoadas, formando-se montes em que são misturadas entre si e com água [40]; ii) alimentação: uso de um caixão alimentador para uniformizar a massa argilosa e abastecer

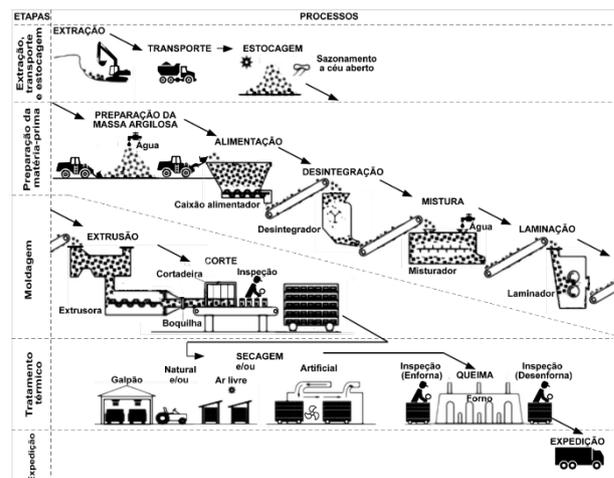


Figura 2: Etapas e processos produtivos da cerâmica vermelha, adaptado de [4].

[Figure 2: Stages and processes for the production of red ceramic, adapted from [4].]

os processos seguintes da produção [37]; iii) desintegração: processo no qual ocorre o destorroamento ou a trituração de grandes torrões de argilas compactas, visando reduzi-los ao tamanho máximo de 20 mm [37]; iv) mistura: uso de um misturador para corrigir a umidade da massa argilosa, misturando o material com água por meio de eixos giratórios horizontais dotados de pás ou facas [5, 37]; v) laminação: uso de um laminador para estirar a massa argilosa por meio de 2 cilindros que giram em rotações diferentes, formando pedaços laminados dessa massa [5].

Na etapa de moldagem, por sua vez, são realizados os processos de: a) extrusão: uso de uma extrusora ou maromba a vácuo para retirar o ar da massa argilosa e, em seguida, extrudá-lo por meio de um parafuso em que o material é forçado contra um molde ou boquilha, resultando em uma coluna de material no formato e nas dimensões da boquilha escolhida [37]; b) corte: uso de cortadeira manual ou automática que, por meio de uma mesa de rolar com um dispositivo com um fino arame de corte, corta a coluna da massa argilosa na dimensão desejada, resultando em peças cruas. Quando na produção de telhas, após esse processo, as peças cruas são encaminhadas para prensagem, responsável pela moldagem no formato côncavo [37]. Por fim, na etapa de tratamento térmico, são realizados os processos de: 1) secagem: é a eliminação de água da peça crua por evaporação com a ajuda do vento e do calor, podendo ser natural ou artificial. A natural consiste na exposição das peças cruas ao vento e ao calor ambiente, seja ao ar livre, em galpões ou estufas. A artificial consiste na exposição das peças cruas dentro de uma estufa, ao vento de ventiladores (estáticos ou autoviajantes) e ao calor recuperado do forno. Pode ser estática, quando as peças ficam paradas, e contínua, quando as peças se movimentam à medida em que elas são inseridas úmidas numa extremidade e retiradas secas na outra, onde é mais quente e seco [5]; 2) queima: é a disposição das peças secas em fornos intermitentes (por exemplo: Paulista e Caipira) ou contínuos (Hoffman e túnel) a uma certa temperatura (entre 800 e 1000 °C) para adquirirem as propriedades físico-químicas necessárias para o estado final do produto. Na atualidade, os combustíveis que têm sido mais usados nesse processo são biomassa vegetal, tais como lenha, pó de serragem, bagaço de cana, casca de arroz e casca de coco [5]. Contudo, algumas indústrias têm usado combustíveis fósseis como óleo combustível, gás liquefeito de petróleo (GLP) e gás natural (GN) [41].

Em suma, observa-se que o processo produtivo da cerâmica vermelha possui um consumo relevante de recursos naturais e energéticos. Estima-se que no Brasil aproximadamente 141,6 milhões de toneladas de argila são consumidos por ano e o consumo de energia elétrica tem variado de 25 a 45 kWh por tonelada de argila [3, 42]. Quanto ao consumo anual de biomassa vegetal, este tem sido estimado em 36,6 milhões de m³ [43]. Além do elevado consumo de recursos naturais, a geração de resíduos e desperdícios também tem conferido emergência ao debate da sustentabilidade na indústria de cerâmica vermelha [38]. Tal segmento industrial ainda tem apresentado alguns problemas como os desper-

dícios de argila, água, energia elétrica e biomassa vegetal, como pode ser constatado em alguns estudos [44-47]. Portanto, faz-se necessário analisar a literatura acerca dos temas produção mais limpa, sustentabilidade e cerâmica vermelha, almejando contribuir por meio de elementos teórico-práticos para o aprimoramento sustentável da produção desse ramo fabril, bem como desvendar lacunas e desafios para futuros estudos que envolvam as temáticas citadas, o que é apresentado a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da literatura levantada e analisada, os resultados obtidos demonstraram, *a priori*, que se torna imperioso nos dias atuais para as organizações industriais e em especial para o ramo industrial da cerâmica vermelha apropriar-se dos conhecimentos e dos contributos gerados pela aplicação de técnicas de P+L, já que se tem como primordial preocupação ações que promovam a sustentabilidade. Para este estudo, levantaram-se os artigos que realizaram pesquisas aplicadas sobre contribuições da produção mais limpa (P+L) para a sustentabilidade da cerâmica vermelha nos últimos 5 anos, obtendo-se um total de 23. Constatou-se, conforme Fig. 3, que, das 6 classificações de técnicas de P+L, a grande maioria dos artigos (57%) foi de mudanças de matéria-prima ou insumo (MMPI). O restante das classificações de técnicas de P+L ficou distribuído da seguinte forma: 17% para reuso ou reciclagem interna (RRI), 10% para mudanças no produto (MP), 7% para boas práticas operacionais (BPO), 7% para reuso ou reciclagem externa (RRE) e 3% para mudanças tecnológicas de processo (MTP). Na Tabela II, apresentam-se as referências dos artigos, o ano da publicação, a técnica de P+L proposta e suas classificações.

Para uma compreensão mais verticalizada dos resultados dos artigos, as próximas seções são apresentadas e discutidas conforme as classificações de técnicas de P+L neles propostas. Para tal, a discussão pautou-se nestas técnicas, classificando-as de acordo com seu nível de prioridade (re-

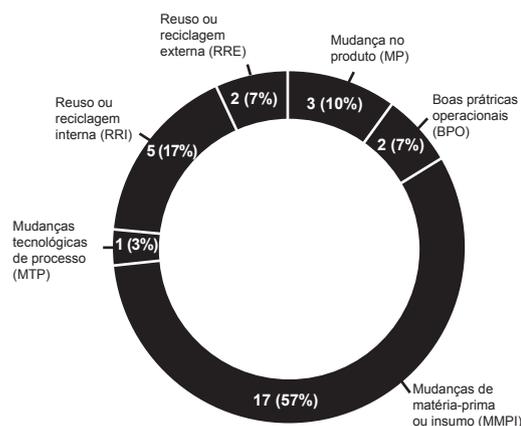


Figura 3: Gráfico da distribuição de classificação de técnicas de P+L dos artigos estudados.

[Figure 3: Ratings distribution graph of CP techniques of investigated articles.]

Tabela II - Técnicas de produção mais limpa (P+L) e suas classificações propostas nos artigos pesquisados.
 [Table II - Cleaner production (CP) techniques and their classifications proposed in the studied articles.]

Ref.	Ano	Técnica de produção mais limpa (P+L) proposta	Classificação da técnica de P+L*	
1	[48]	2011	Incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação	MMPI
2	[49]	2011	Incorporação de lodo de ETA à massa argilosa	MMPI
3	[50]	2011	Incorporação de lodo galvânico, vidro sodocálcico (embalagens de bebidas) e vidro borossilicato (recipientes de laboratório) na massa argilosa	MMPI
4	[51]	2011	Fabricação de blocos estruturais prensados e queimados de encaixe (macho e fêmea)	MP
5	[52]	2012	Processamento de cerâmica vermelha usando ciclo de queima rápida	BPO
6	[53]	2012	Incorporação de lodo gerado na serra de corte de gemas (ametista e ágata) na massa argilosa	MMPI
7	[54]	2012	Incorporação de rejeito de rocha ornamental (granito e mármore) isento de granalha oriundo de tear de fio diamantado na massa argilosa	MMPI
8	[55]	2012	Diminuição da rugosidade da superfície de telha cerâmica com incorporação de chamote à massa argilosa	RRI, MMPI
9	[46]	2013	Análise da qualidade da argila na jazida; reuso de RCV no próprio processo produtivo; uso de peneiras com menor abertura para evitar a passagem de impurezas na extrusão; manutenção de máquinas e equipamentos como boquilha; treinamento de mão de obra; reuso do calor do forno para secagem artificial de telhas	BPO, RRI, MMPI
10	[56]	2013	Incorporação de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar à massa argilosa	MMPI
11	[57]	2014	Incorporação de rejeito de rocha ornamental oriundo de tear de fio diamantado à massa argilosa	MMPI
12	[58]	2014	Incorporação de vidro de lâmpadas fluorescentes descontaminadas à massa argilosa	MMPI
13	[59]	2014	Incorporação de lodo de ETA à massa argilosa	MMPI
14	[60]	2014	Fabricação de blocos estruturais com lodo de ETA de uma indústria de papel e celulose misturado com granito triturado	MP
15	[61]	2014	Reuso de resíduos de cerâmica vermelha (RCV) como material pozolânico na indústria de cimento Portland	RRE
16	[62]	2014	Incorporação de RCV como substituto do agregado natural de rocha granítica e calcária na produção de concreto de cimento Portland	RRE
17	[63]	2014	Incorporação de chamote à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação	RRI, MMPI
18	[64]	2014	Reuso de RCV e polímeros recicláveis (politereftalato de etileno, polipropileno e poliestireno) para formação de compósito cerâmico-polímero a fim de fabricar telhas cerâmicas com eliminação do processo de queima	RRI, MMPI, MP
19	[65]	2015	Incorporação de resíduo de beneficiamento de carvão mineral à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação	MMPI
20	[66]	2015	Construção de novas fornalhas e portas de visibilidade, e isolamento térmico da zona de queima com mantas térmicas em forno túnel	MTP
21	[67]	2016	Incorporação de resíduos de basalto à massa argilosa	MMPI
22	[68]	2016	Incorporação de resíduo de quartzito à massa argilosa	MMPI
23	[69]	2016	Reutilização de chamote de telhas à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação	RRI, MMPI

* - MP: mudanças no produto; BPO: boas práticas operacionais; MMPI: mudanças de matérias-primas ou insumos; MTP - mudanças tecnológicas de processo; RRI: reuso ou reciclagem interna; RRE: reuso ou reciclagem externa.

dução de desperdícios na fonte, reciclagem interna e reciclagem externa) e seu foco (no produto, processo ou resíduo). Concomitantemente, discutiram-se as contribuições dessas técnicas de P+L para a sustentabilidade da cerâmica vermelha. Por fim, foram apresentados e discutidos as lacunas e os desafios na busca de contribuições para futuros estudos sobre as temáticas em questão.

Mudanças de matérias-primas ou insumos (MMPI): em [48] assinala-se que a incorporação de 10% de lodo de ETA na massa argilosa permite a fabricação de blocos de vedação em temperaturas de queima abaixo de 1000 °C e que acima dessa temperatura até 20% de lodo de ETA pode ser incorporado à massa, o que permite também a fabricação de telhas em conformidade com as normas técnicas brasileiras desses produtos. Em [49], por sua vez, aponta-se que, para blocos estruturais de 6 furos extrudados, 8% é o máximo de lodo de ETA a ser incorporado na massa argilosa para estar em conformidade com a norma técnica desse produto. Em [59] pontua-se que, do ponto de vista mineralógico, químico e físico, o lodo de ETA atende às normas técnicas de produtos cerâmicos e que tal resíduo pode ser incorporado às massas argilosas em quantidades moderadas devido ao seu elevado valor de limite plástico. Em [50] concluiu-se que a incorporação de lodo galvânico, de vidro sodocálcico (de embalagens de bebidas) e de vidro borossilicato (recipientes de laboratório) para a fabricação de blocos e telhas cerâmicas obtiveram melhores resultados com as seguintes medidas: 15% de lodo galvânico mais 15% de vidro borossilicato incorporados à massa argilosa. Quanto aos ensaios de lixiviação (para identificar elementos perigosos conforme à sua toxicidade), nenhum dos corpos cerâmicos ultrapassou os limites de Pb, Cd e Cr. Entretanto, as formulações com vidro borossilicato e lodo galvânico apresentaram menores valores de lixiviação somente para o Cr, enquanto as formulações com vidro sodocálcico e lodo galvânico apresentaram os menores valores de lixiviação nos resultados para os elementos Pb e Cd [50]. Em [53] investigou-se a incorporação de lodo gerado na serra de corte de gemas como ametista e ágata à massa argilosa. Concluiu-se que até 5% desse lodo podem ser incorporados à massa. Quantidades superiores a esse percentual ficaram fora dos padrões estabelecidos pelas normas técnicas de produtos cerâmicos [53]. Em [54] avaliou-se a incorporação de rejeito de rocha ornamental isento de granalha, oriundo de tear de fio diamantado, à massa argilosa e concluiu-se que a adição de 10% desse rejeito, sob condições de queima a 900 °C, é a mais indicada para uso em cerâmica vermelha. Já no estudo [57], os resultados mostraram que podem ser incorporados 20, 40 e 60% de rejeito de rocha ornamental à massa argilosa, sob condições de queima a 1000 °C, para fabricação de telhas e blocos de cerâmica vermelha estrutural, pois as amostras apresentaram propriedades tecnológicas superiores ao indicado pelas normas técnicas desses produtos. A incorporação de 60% de rocha ornamental é aquela que mais favorece a mitigação de impactos ambientais gerados pelas indústrias de rochas ornamentais, levando em consideração que esse percentual possui uma quantidade maior de resíduo incorporado sem

alterar as propriedades tecnológicas de forma significativa [57]. Em [68], no estudo de incorporação de resíduo de quartzito em uma massa argilosa para a produção de peças de cerâmica vermelha, concluiu-se que até 15% desse resíduo podem ser incorporados, sob condições de queima a 1000 °C, com melhoria nas propriedades físicas e mecânicas sem alteração de cor. Os resultados também demonstraram que os resíduos e as massas foram classificadas como não perigosos, sendo o resíduo pertencente à classe II A - não inerte e as massas pertencentes à classe II B - inerte [68]. Em [58], ao estudar a incorporação de vidro de lâmpadas fluorescentes descontaminadas à massa argilosa, concluiu-se que formulações com teor de 7 a 12% desse resíduo mostraram-se satisfatórias quando comparadas a padrões de normatização técnica de telhas e blocos cerâmicos. Sendo assim, os resultados demonstraram a possibilidade de incorporação de vidro de lâmpadas fluorescentes descontaminadas no processo de fabricação de cerâmica vermelha, atuando como uma alternativa para minimizar o impacto ambiental gerado pelo acúmulo desse resíduo [58]. Em [56] concluiu-se que a incorporação de até 10% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar à massa argilosa atende aos padrões das normas técnicas para a fabricação de blocos e telhas de cerâmica vermelha, o que pode contribuir para reduzir os impactos ambientais causados pela indústria da cana. Em [67] foram incorporados resíduos (pós) de basalto à massa argilosa e concluiu-se que tal resíduo contribui para redução das retrações nos processos de secagem e queima. Além disso, foi destacado que propriedades tecnológicas, tais como densidade, absorção de água e desempenho mecânico, não são significativamente afetadas pelo uso de pó de basalto como matéria-prima incorporada à massa [67]. Em [65] foi incorporado resíduo de beneficiamento de carvão mineral à massa argilosa para fabricação de blocos de vedação e concluiu-se que a massa argilosa apresentou boa plasticidade de conformação, devido principalmente ao tamanho da partícula e ao próprio excesso de matéria orgânica, além de um comportamento térmico satisfatório. Assim, o efeito fundente na massa argilosa, o aumento de plasticidade verificado nas etapas de conformação e o enquadramento das propriedades físicas e mecânicas na norma técnica viabilizam o uso de resíduo de carvão mineral como matéria-prima na fabricação de cerâmica vermelha [65]. Nesse contexto, entende-se que as técnicas citadas são classificadas como MMPI, pois buscam a reciclagem de resíduos oriundos de outros processos produtivos como matéria-prima para os processos da cerâmica vermelha. Essas técnicas visam à redução de desperdícios na fonte, o nível mais prioritário da P+L, com foco no processo produtivo da cerâmica vermelha. A reciclagem desses resíduos ajuda a evitar a sua disposição inadequada no meio ambiente, prevenindo a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, do solo e do ar, tendo em vista que alguns desses resíduos são considerados perigosos, isto é, que oferecem riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Portanto, essas técnicas contribuem para a sustentabilidade da cerâmica vermelha, pois, além de evitarem danos à saúde pública e ao meio ambiente pela disposição inadequada de

resíduos, ajudam a reduzir custos de produção e, sobretudo, o uso de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural.

Mudanças no produto (MP): em [51] concluiu-se que a fabricação de blocos estruturais prensados e queimados de encaixe (macho e fêmea) atenderam a parâmetros físicos, químicos e mecânicos para serem utilizados como alternativa em edificações na construção civil. A fabricação desse produto prensado elimina grande parte de desperdícios comparados com o processo de extrusão, pois os blocos prensados possuem baixa umidade, o que elimina o processo de secagem. Nos canteiros de obra, o benefício fica por conta do sistema de encaixe, similar ao tradicional usado em bloco de solo-cimento, e ainda podem ser usados como blocos estruturais [51]. Em [60] foi apontado que o lodo de ETA de uma indústria de papel e celulose misturado com o granito triturado pode ser utilizado como um substituto para a argila, devendo ser testado na indústria de cerâmica vermelha em escala piloto, a fim de avaliar a sua aptidão para a fabricação de revestimentos interiores e blocos estruturais. A reciclagem desses resíduos pode ser tecnicamente e economicamente viável, além de ambientalmente atraente, pois permite uma destinação ambientalmente adequada dos resíduos, além de contribuir para a fabricação de produtos com maior resistência mecânica e de reduzir o uso de recursos naturais, como argila e água [60]. Diante disso, pode-se dizer que as técnicas propostas pelos autores são de MP porque buscam trazer mudanças ao projeto (forma ou design) ou à composição do produto, com o objetivo de reduzir os seus impactos ao longo do seu ciclo de vida. Essas técnicas visam a redução de desperdícios na fonte com foco no produto da cerâmica vermelha. Portanto, a contribuição dessas técnicas para a sustentabilidade da cerâmica vermelha consiste na redução de custos de produção em consequência da redução do uso de água, energia, combustíveis e, principalmente, argila, ao substituir tal matéria-prima por resíduos ou ao minimizar seu desperdício, o que aumenta o tempo de vida útil das jazidas de dado recurso natural.

Boas práticas operacionais (BPO): em [52] comprovou-se que o processamento de cerâmica vermelha em ciclos de queima rápida (10 e 20 °C/min) entre 700 e 1100 °C resulta, para telhas e blocos cerâmicos, propriedades tecnológicas e microestrutura comparáveis àquelas convencionalmente obtidas via queima lenta (1 °C/min). O ciclo de queima rápida pode ser viável nos âmbitos econômico e técnico, além de trazer benefícios ambientais como a economia de combustível e de energia [52]. Por conseguinte, entende-se que tal técnica é uma BPO, uma vez que consiste em trazer mudança operacional no processo de queima para reduzir desperdícios de combustível e de energia. Essa técnica visa, com foco no processo produtivo da cerâmica vermelha, a redução de desperdícios na fonte. Logo, essa técnica contribui para a sustentabilidade da cerâmica vermelha, à medida em que reduz o uso de combustível e energia no processo de queima, acarretando na redução do uso de recursos naturais (como a cobertura vegetal que fornece a lenha) e de custos de produção.

Boas práticas operacionais (BPO), reuso ou reciclagem interna (RRI) e mudanças de matérias-primas ou insumos: em [46] constatou-se que os processos de queima, estocagem de produto acabado e expedição são os que geram maior volume de RCV não reciclados ou retrabalhados (telhas e blocos quebrados ou defeituosos) na cerâmica vermelha investigada. As causas desses problemas decorrem da ausência de técnicas de P+L nos processos produtivos. Sendo assim, uma série de técnicas de P+L podem ser propostas, como: análise da qualidade da argila na jazida (BPO); reuso ou reciclagem de RCV, como o chamote, no próprio processo produtivo (RRI e MMPI); uso de peneiras com menor abertura para evitar a passagem de impurezas no processo de extrusão (BPO); manutenção preventiva das máquinas (BPO); treinamento para os funcionários (BPO) e aproveitamento do calor do forno para secagem artificial de telhas (RRI) [46]. Diante disso, classificam-se as técnicas propostas pelos autores como BPO, RRI e MMPI, tendo em vista que buscam trazer mudanças operacionais, treinamento para os funcionários, reuso ou reciclagem de resíduos e calor para serem reintroduzidos no processo produtivo. Essas técnicas visam a redução de desperdícios na fonte e a reciclagem interna. Ambas têm o foco no processo produtivo da cerâmica vermelha. Portanto, essas técnicas contribuem para a sustentabilidade da cerâmica vermelha porque, além de ajudarem a reduzir a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente, reduzem o uso de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural, de insumos energéticos e os custos de produção.

Mudanças tecnológicas de processo (MTP): em [66] constatou-se que o desperdício de energia térmica nas paredes, tetos, fornalhas e portas de visibilidade de um forno túnel podem gerar custos estimados de R\$ 250000,00/ano para a cerâmica vermelha investigada. Diante disso, foram propostas a construção de novas fornalhas e portas de visibilidade, bem como o isolamento térmico da zona de queima com mantas térmicas como alternativas econômica e ambientalmente viáveis, devido à redução de custo com a economia de combustível [66]. Nesse contexto, compreende-se que as técnicas propostas são de MTP, haja vista que buscam implantar equipamentos para reduzir o desperdício de energia térmica. Essas técnicas visam a redução de desperdícios na fonte com foco no processo produtivo da cerâmica vermelha. Sendo assim, a contribuição dessa técnica para a sustentabilidade da cerâmica vermelha consiste no uso de forma eficiente do insumo energético, o que ajuda na redução do uso de recurso natural (como a cobertura vegetal que fornece a lenha) e de custos de produção.

Reuso ou reciclagem interna (RRI) e mudanças de matérias-primas ou insumos (MMPI): em [55] demonstrou-se que incorporação de 12% de chamote à massa argilosa ajuda a diminuir a rugosidade superficial de telhas sem alterar o processo de fabricação. Em [63], por sua vez, constatou-se a viabilidade da utilização de até 20% de chamote incorporados à massa argilosa no processo cerâmico. Além disso, verificou-se por meio de análises de lixiviação e de solubilização de resíduos que o chamote foi classificado como

resíduo não perigoso e não inerte, ou seja, resíduo classe II A. Já em [69] reutilizou-se chamote de telhas na massa argilosa para fabricação de blocos de vedação e os resultados apontaram que a formulação com 5% de chamote incorporados à massa obteve os melhores resultados, sob condições de queima a 1000 °C. O estudo demonstrou que a incorporação do chamote à massa argilosa é viável, sendo que em alguns casos melhorou as propriedades tecnológicas do produto final. Portanto, o chamote pode ser uma alternativa para a cerâmica vermelha e uma solução para minimizar os impactos ambientais gerados pelo descarte dos resíduos da própria indústria de cerâmica vermelha [69]. Desse modo, tal incorporação de chamote à massa argilosa é uma técnica de RRI e também de MMPI. Essas técnicas visam a redução de desperdícios na fonte e a reciclagem interna, ambas com foco no processo produtivo da cerâmica vermelha. As técnicas propostas buscam por meio de reciclagem o retorno de RCV para o próprio processo produtivo cerâmico como um insumo incorporado à massa argilosa. Logo, contribuem para a sustentabilidade da cerâmica vermelha porque, além de reduzir os custos de produção, evitam a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente e auxiliam a redução do uso de argila, aumentando o tempo de vida útil das jazidas desse recurso natural.

Reuso ou reciclagem interna (RRI), mudanças de matérias-primas ou insumos (MMPI) e mudanças no produto (MP): em [64] concluiu-se que o reuso de RCV e polímeros recicláveis, como politereftalato de etileno (PET), polipropileno (PP) e poliestireno (PS), para formação de um compósito cerâmico-polímero, a fim de fabricar telhas cerâmicas com a eliminação do processo de queima, pode fabricar um compósito de alta resistência mecânica à flexão e baixa absorção de água, que chega a ser três vezes mais resistente quando comparado com telhas comerciais. Diante disso, há a possibilidade de fabricar telhas cerâmicas com espessuras menores, área de cobertura e leveza maiores que as convencionais, obtendo-se redução no custo de frete e de estrutura para cobertura. Além dessas características técnicas, outro ponto relevante é a questão ecológica: as formulações foram feitas com RCV e polímeros recicláveis, bem como com a eliminação da etapa de queima que proporciona redução no consumo de combustíveis e, conseqüentemente, da poluição atmosférica gerada pelos gases liberados na queima [64]. Portanto, essa técnica pode ser classificada como de RRI, MMPI e MP, uma vez que se busca o reuso de RCV oriundo do próprio processo cerâmico, e a reciclagem de polímeros como PET, PP e PS oriundos de outros processos produtivos, com o propósito de formar um compósito cerâmico-polímero para fabricar telha cerâmica. Essa técnica visa a redução de desperdícios na fonte e a reciclagem interna, tendo como foco o produto e o processo produtivo da cerâmica vermelha. Trata-se, assim, de um novo produto, cujos design e composição são modificados para reduzir os impactos ao longo do seu ciclo de vida. Logo, essa técnica contribui para a sustentabilidade da indústria de cerâmica vermelha porque, além de reduzir custos de produção, evita a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente, ajuda sobretudo a

conservar a argila, aumentando o tempo de vida útil de suas jazidas, e reduz o consumo de combustíveis, bem como a emissão de gases para a atmosfera, já que elimina o processo de queima.

Reuso ou reciclagem externa (RRE): em [61] verificou-se que o reuso de RCV é adequado para a utilização como aditivo pozolânico em cimento Portland. Utilizando o ensaio Chapelle, foi verificado que a média dos valores de reatividade de quatro amostras de RVC ficou em 612 mg de $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$, ultrapassando em 40% o valor mínimo aconselhado. Por isso, os resíduos cerâmicos passaram a ter elevado potencial de serem reaproveitados como adição mineral em cimentos e concretos, uma vez que a composição química desses materiais se mostrou compatível com os valores requeridos por normas técnicas [61]. Por sua vez, em [62] concluiu-se que o RCV, especificamente a fração graúda, pode ser um substituto do agregado natural de rocha granítica e calcária na produção de concreto de cimento Portland, levando em consideração os resultados mecânicos obtidos. Todavia, foi recomendado para estudos futuros que se faça uma análise das propriedades físicas (absorção e porosidade) de tal resíduo para que se possa estimar a quantidade necessária de água para o amassamento [62]. Tais técnicas podem ser classificadas como RRE porque buscam dar uma destinação final ambientalmente adequada ao RCV com o objetivo de transformá-lo em insumos para outras indústrias. Essas técnicas visam a reciclagem, o nível menos prioritário da P+L, com foco no resíduo da cerâmica vermelha. Portanto, elas contribuem para a sustentabilidade da indústria de cerâmica vermelha, uma vez que evitam a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente e ainda podem gerar receita com a venda desses resíduos para outras indústrias.

Lacunas e desafios: após a análise dos resultados dos artigos, buscou-se desvendar lacunas e desafios na busca por contribuições para futuros estudos sobre P+L aplicada na indústria de cerâmica vermelha. Nesse sentido, a primeira lacuna que pode ser destacada é em relação à escassez do uso de metodologias para aplicação de um programa de P+L. Apenas um artigo [46] mencionou um guia de implementação da metodologia de P+L proposta pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) do Rio Grande do Sul [11]. Importante ressaltar que os CNTLs foram criados em 1995, em 8 países, pelo PNUMA (em inglês UNEP). Atualmente, há 58 centros funcionando em 56 países, inclusive no Brasil, cuja sede se localiza no SENAI-RS [70]. Esses centros servem como um mecanismo para prestar serviços de P+L para empresas, governos e outras organizações, por meio de treinamentos e consultorias, de modo a encontrar as melhores soluções para problemas específicos com enfoque ambiental preventivo e viés econômico [71, 72]. Além do CNTL, há também a Rede Brasileira de Produção Mais Limpa, criada em 1999 com o intuito de promover o desenvolvimento sustentável nas micro e pequenas empresas do país. Na atualidade, a rede é formada por sete núcleos estaduais (MG, BA, SC, MT, RJ, CE e PE) e onze núcleos

regionais do SEBRAE (DF, AM, AP, MS, PA, ES, AL, RJ, RN, PI e SE) e também conta com a parceria do PNUMA. Essa rede já implementou a P+L em mais de 300 empresas, proporcionando melhorias no desempenho ambiental e ganhos econômicos [73]. A segunda lacuna encontrada nos artigos diz respeito à ausência de implementação contínua de técnicas de P+L no processo produtivo cerâmico. Todos os artigos apontaram propostas de técnicas de P+L baseadas principalmente em experimentos. Contudo, não houve a implementação de modo contínuo dessas técnicas. Isso é um reflexo da primeira lacuna, a escassez de uso de metodologias para aplicação de um programa de P+L. A terceira e última lacuna é acerca da insuficiência de técnicas de P+L que auxiliem a evitar a emissão de material particulado fino ou respirável, isto é, que possui diâmetro aerodinâmico igual ou menor a 2,5 μm , liberado durante a queima de madeira na fabricação de produtos cerâmicos. Mortes prematuras, doenças mutagênicas e problemas respiratórios têm sido associados à exposição ao material particulado fino, pois é essa a fração que penetra no trato respiratório humano (nível alveolar), onde os mecanismos de expulsão desses poluentes não são eficientes [74, 75]. Esse tem se constituído como o principal contribuinte para o impacto sobre a saúde humana na produção de cerâmica vermelha [2].

Ressalta-se que têm sido propostas, para reduzir a emissão de material particulado fino, o uso de técnicas de fim de tubo, quais sejam, lavadores de gases, filtros manga, ciclones e precipitadores eletrostáticos [76]. Em oposição a tais técnicas, o que pode ser sugerido são técnicas de P+L que eliminem o processo de queima, conforme já foi exposto no artigo [64]. Outra técnica de P+L que pode ser indicada para prevenir a emissão de material particulado fino é o uso de gás natural (GN). O GN é o combustível fóssil com menor emissão do principal gás de efeito estufa, o dióxido de carbono (CO_2), que gera em torno de 15,3 tC/TJ (tonelada de carbono por terajoule) [77], cerca de 20 a 23% menos CO_2 do que o óleo combustível. Além disso, o GN em equipamentos adaptados e adequados para sua queima não emite óxido de enxofre (SO), fuligem e materiais particulados, enquanto as emissões de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x) poderiam ser relativamente bem controladas [78]. Diante disso, pode-se dizer que o uso de metodologias para a aplicação de programas de P+L, a implementação contínua de técnicas de P+L e as técnicas de P+L que ajudem a evitar a emissão de material particulado fino (MP 2,5) são os desafios para futuros estudos sobre a P+L aplicada na indústria de cerâmica vermelha.

CONCLUSÕES

Ratifica-se, a partir da revisão bibliográfica, que a produção mais limpa (P+L) é uma abordagem que ao ser implementada no processo de produção da indústria de cerâmica vermelha melhora o desempenho socioambiental, uma vez que previne ou reduz desperdícios e geração de resíduos nocivos ao meio ambiente ao longo de um processo produtivo, não somente em sua finalização, ou até mesmo ao longo do

ciclo de vida de um produto. Ou seja, a P+L se centra na prevenção, logo traz contributos teóricos e técnicos que podem garantir a sustentabilidade do ramo fabril em questão. Além disso, pode-se afirmar que a revisão de literatura realizada sobre P+L, sustentabilidade e cerâmica vermelha contribuiu teoricamente para a redução das ambiguidades e das incongruências suscitadas por esses termos. Dentre as técnicas propostas nos artigos analisados, constatou-se que a maioria (57%) tem sido classificada como mudança de matéria-prima ou de insumo (MMPI), advinda da reciclagem de resíduos de outros processos industriais para ser utilizada como matéria-prima incorporada à massa argilosa, a exemplo do chamote oriundo de RCV, lodo de ETA, rejeito de rochas ornamentais, vidro de lâmpadas fluorescentes descontaminadas e resíduos de carvão mineral. Destaca-se ainda que as principais contribuições práticas que a P+L pode proporcionar à sustentabilidade da cerâmica vermelha são: i) preservação de estoque de argilas por meio da sua substituição por resíduos reciclados de outros processos industriais; ii) uso eficiente da argila por meio de incorporação de resíduos reciclados à massa argilosa para aumentar o tempo de vida útil das jazidas de argila; iii) redução de desperdícios de argila, água, energia e emissões de gases para a atmosfera por meio da aplicação de boas práticas operacionais, mudanças tecnológicas de processos, reuso ou reciclagem interna de insumos; e iv) redução de riscos à saúde pública e ao meio ambiente, ao evitar a disposição inadequada de resíduos por meio de reuso ou reciclagem interna (na própria indústria) ou externa (para outras indústrias). Ademais, as contribuições teóricas podem colaborar com informações e conhecimentos técnicos que aplicados podem reduzir os custos de produção e os desperdícios e resíduos no processo produtivo cerâmico, gerando oportunidades de receitas para as empresas do setor. Por fim, ressalva-se que só a aplicação da P+L não é suficiente para atingir a sustentabilidade do segmento. Acredita-se que um caminho mais satisfatório para buscar tal objetivo seja, por exemplo, por meio da implantação de uma política de sustentabilidade que seja norteadora por sistemas, como os de responsabilidade social, por subsistemas ou estratégias, como os sistemas de gestão ambiental (SGA), e por abordagens, como da P+L, avaliação do ciclo de vida (ACV) e ecodesign, e que tudo isso seja aplicado de forma integrada.

REFERÊNCIAS

- [1] Ass. Nac. Ind. Cerâmica, Relatório anual, Anicer, Rio de Janeiro (2014).
- [2] D.M. Souza, M. Lafontaine, F. Charron-Doucet, X. Bengoa, B. Chappert, F. Duarte, L. Lima, J. Clean. Prod. **89** (2015) 165.
- [3] Minist. Meio Ambiente, “Anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos”, MME, Brasília (2015).
- [4] A.C. da Silva, A.J.C. Pithon, J.L. Fernandes, L.M. dos Santos, Cerâmica **60** (2014) 490.
- [5] A.A. Oliveira, *Tecnologia em cerâmica*, Ed. Lara, Rio de Janeiro (2011).

- [6] P. Glavic, R. Lukman, *J. Clean. Prod.* **15** (2007) 1875.
- [7] J.C. Barbieri, *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*, 2ª ed., Saraiva, S. Paulo (2007) 134.
- [8] S.C. Vergara, *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*, 10ª ed., Ed. Atlas, S. Paulo (2009) 45.
- [9] United Nations Environ. Programme, “Government strategies and policies for cleaner production”, UNEP Ind. & Environ., Paris (1994) 3.
- [10] United Nations Environ. Programme, “Resource efficient and cleaner production”, disponível em: <<http://www.unep.fr/scp/cp/>>, acesso: 01/07/2016.
- [11] Serv. Nac. Apend. Ind. Rio Grande Sul, “Implementação de programas de produção mais limpa”, CNTL, Porto Alegre (2003).
- [12] F.A. Oliveira Filho, “Aplicação do conceito de produção limpa: estudo em uma empresa metalúrgica do setor de transformação do alumínio”, Diss. Mestr., Univ. Fed. Santa Catarina, Florianópolis (2001).
- [13] R. Hillary, N. Thorsen, *J. Clean. Prod.* **7** (1999) 1.
- [14] L.C. Vieira, F.G. Amaral, *J. Clean. Prod.* **113** (2016) 5.
- [15] J. Fresner, *J. Clean. Prod.* **6** (1998) 171.
- [16] J.K. Staniskis, *Water Purification Manage.* **1** (2011) 1.
- [17] R. Van Berkel, *J. Clean. Prod.* **15** (2007) 741.
- [18] L.W. Bass, *J. Clean. Prod.* **1** (1995) 55.
- [19] D.A.L. Silva, I. Delai, M.A.S. Castro, A.R. Ometto, *J. Clean. Prod.* **47** (2013) 174.
- [20] A. Howgrave-Graham, R. Van Berkel, *J. Clean. Prod.* **15** (2007) 787.
- [21] A. Kiperstok, A. Coelho, E.A. Torres, C.C. Meira, S.P. Bradley, M. Rosen, *Prevenção da poluição*, Senai/DN, Brasília (2002) 117.
- [22] L. Nilsson, P.O. Persson, L. Rydén, S. Darozhka, A. Zaliauskiene, “Cleaner production technologies and tools for resource efficient production”, Baltic Univ. Press, Uppsala, Sweden (2007) 22.
- [23] T.M.T. Gasi, E. Ferreira, *in: Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações*, A. Vilela Jr., J. Demajorvic (Orgs.), 3ª ed., Ed. Senac, S. Paulo (2013).
- [24] S. Gurbuz, N. Kiran-Ciliz, O. Yenigun, *J. Clean. Prod.* **12** (2004) 613.
- [25] United Nations Environ. Programme, “Guidance manual how to establish and operate cleaner production centres”, UNEP, Paris (2004).
- [26] Infopédia, “Dicionário da língua portuguesa com acordo ortográfico”, Porto Ed., Porto, disponível em: <<http://www.infopedia.pt/>>, acesso: 27/06 (2016).
- [27] S.N. Dodić, D.G. Vučurović, S.D. Popov, J.M. Dodić, J.A. Ranković, *Renew. Sust. Energ. Rev.* **14** (2010) 3242.
- [28] United States Environ. Prot. Ag., EPA 600/R92/088, “Facility pollution prevention planning guide”, USEPA, Cincinnati (1992).
- [29] J.R. Siche, F. Agostinho, E. Ortega, A. Romeiro, *Ambiente Soc.* **X** (2007) 137.
- [30] S. Sartori, F. Latrônico, L.M.S. Campos, *Ambiente Soc.* **17** (2014) 1.
- [31] R. Costanza, *Ecological economics: the science and management of sustainability*, Columbia Press, New York (1991).
- [32] T. Lindsey, *J. Clean. Prod.* **19**, (2011) 561.
- [33] M. Gaussin, G. Hu, S. Abolghasem, S. Basu, M.R. Shankar, B. Bidanda, *Int. J. Prod. Econ.* **146** (2011) 515.
- [34] P. Bartelmus, *Ecol. Econ.* **46** (2003) 61.
- [35] M. Lehtonen, *Ecol. Econ.* **49** (2004) 199.
- [36] S.J. Sarandón, *in: Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*, S.J. Sarandón (Ed.), Ediciones Científicas, La Plata, Argentina (2002) 393.
- [37] J.A. Limaverde, *A indústria de cerâmica vermelha no Nordeste*, BNB/ETENE, Fortaleza (1983).
- [38] P.D.M. Silva Filho, “Análise da sustentabilidade empresarial de indústrias do setor de cerâmica vermelha do Estado da Paraíba”, Diss. Mestr., Univ. Fed. Paraíba, João Pessoa (2014).
- [39] E. Facincani, *Coletânea de tecnologia cerâmica: cerâmica estrutural*, Faenza Ed. Brasil, S. Paulo (2002).
- [40] Fed. Ind. Est. Minas Gerais, “Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica vermelha”, FIEMG, Belo Horizonte, 2013.
- [41] A.P. Dadam, V.P. Nicolau, T.G. Jahn, R.F. Hartke, *Cerâm. Ind.* **11** (2006) 40.
- [42] M.R.V. Schwob, “Perspectivas de difusão do gás natural na indústria de cerâmica vermelha”, Diss. Mestr., Univ. Fed. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (2007).
- [43] M.R.V. Schwob, M. Henriques Júnior, A. Szklo, *Appl. Energy* **86** (2009) 1524.
- [44] G.C. Gricoletti, M.A. Sattler, *Ambiente Construído* **3** (2003) 101.
- [45] E.P. Almeida, L.R. Porto, E.M.M.A. Nóbrega, A.F.F. Queiroga, I. Costa, *in: Anais Int. Workshop Adv. Cleaner Production*, S. Paulo, disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/>> (2009).
- [46] D. Maciel, L. Freitas, *Rev. Produção Online* **13** (2013) 1355.
- [47] M.M. Morais, C.A. Gomes, Y.M. Paz, R.A.S. Jeronimo, R.M. Holanda, *in: Anais Int. Workshop Adv. Cleaner Production*, S. Paulo, disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/>> (2015).
- [48] S.R. Teixeira, G.T.A. Santos, A.E. Souza, P. Alessio, S.A. Souza, N.R. Souza, *Appl. Clay Sci.* **53** (2011) 561.
- [49] R. Tartari, A.N. Módenes, S.A. Pianaro, N. Díaz-Mora, *Cerâmica* **57** (2011) 387.
- [50] A.C. Teloeken, D.L. Villanova, T.M. Basegio, C.P. Bergmann, *Cerâm. Ind.* **16** (2011) 14.
- [51] L.G. Pedroti, J. Alexandre, G.C. Xavier, S.N. Monteiro, C.M.F. Vieira, A.V. Bahiense, P.C.A. Maia, *Cerâm. Ind.* **16** (2011) 25.
- [52] G.T. Saleiro, J.N.F. Holanda, *Cerâmica* **58** (2012) 393.
- [53] F.R. Bruxel, E.C. Oliveira, S. Stulp, C.S. Muller, H.D. Etchepare, *Cerâmica* **58** (2012) 211.
- [54] D.V. Rodrigues, G.C. Xavier, F. Saboya, P.C.A. Maia, J. Alexandre, *Cerâmica* **58** (2012) 286.
- [55] P. Fernandes, K. Donadel, V.S. Nandi, P. Mantas, *Cerâm. Ind.* **17** (2012) 42.
- [56] K.C.P. Faria, J.N.F. Holanda, *Cerâmica* **59** (2013) 473.

- [57] S.P. Taguchi, J.C. Santos, T.M. Gomes, N.A. Cunha, *Cerâmica* **60** (2014) 291.
- [58] V.S. Nandi, A. Zaccaron, P. Fernandes, J.P. Dagostin, A.M. Bernadin, *Cerâm. Ind.* **19** (2014) 29.
- [59] B.C.A. Pinheiro, G.M. Estevão, D.P. Souza, *Rev. Matéria* **19** (2014) 204.
- [60] E. Wolff, W.K. Schwabe, S.V. Conceição, *J. Clean. Prod.* **96** (2015) 282.
- [61] E. Garcia, M. Cabral Junior, V.A. Quarcioni, F.F. Chotoli, *Cerâm. Ind.* **19** (2014) 32.
- [62] R. Landolfo, M.P. Oliveira, N.A.S. Nogueira, *Cerâm. Ind.* **19** (2014) 35.
- [63] A. Zaccaron, S.L. Galatto, V.S. Nandi, P. Fernandes, *Cerâm. Ind.* **19** (2014) 33.
- [64] F. Rosso, K. Donadel, V.S. Nandi, A. Zaccaron, J.B. Pessoa, C.D.P.A. Rodrigues, D.D. Candioto, G. Ghizzo, D. Cologni, *Cerâm. Ind.* **19** (2014) 42.
- [65] A. Zaccaron, V.S. Nandi, D.B. Silva, A.B. Comin, *Cerâm. Ind.* **20** (2015) 38.
- [66] V.S. Nandi, J.M. Inocente, A. Zaccaron, A.M. Bernardin, *Cerâm. Ind.* **20** (2015) 30.
- [67] T.M. Mendes, G. Morales, P.J. Reis, *Cerâmica* **62** (2016) 157.
- [68] M.E.A. Carreiro, R.C. Santos, V.J. Silva, H.L. Lira, G.A. Neves, R.R. Menezes, L.N.L. Santana, *Cerâmica* **62** (2016) 170.
- [69] Y.L. Oliveira, Z. Linhares Júnior, L. Ancelmo, R.A.L. Soares, *Cerâm. Ind.* **21** (2016) 45.
- [70] R.A. Luken, R. Van Berkel, H. Leuenberger, P. Schwager, *J. Clean. Prod.* **112** (2016) 1165.
- [71] R.A. Luken, J. Navratil, *J. Clean. Prod.* **12** (2004) 195.
- [72] R. Van Berkel, *J. Environ. Manage.* **91** (2010) 1556.
- [73] H.C.D. Pimenta, R.P. Gouvinhas, *Produção* **22** (2012) 462.
- [74] P. Michelozzi, F. Forastiere, D. Fusco, C.A. Perucci, B. Ostro, C. Ancona, G. Palloti, *Occup. Env. Med.* **55** (1998) 605.
- [75] R.J. Delafino, C. Sioutas, S. Mailik, *Environ. Health Perspect.* **113** (2006) 934.
- [76] Ass. Nac. Ind. Cerâmica, “Cartilha ambiental cerâmica vermelha”, Anicer, Rio de Janeiro (2014).
- [77] Intergovern. Panel Climate Change, “Guidelines for national greenhouse gas inventories”, Vol. 2, IPCC, Japan (2006).
- [78] Empr. Pesq. Energética, “Boletim de análise e conjuntura energética”, EPE, Brasília (2006).
(*Rec.* 11/10/2016, *Rev.* 02/12/2016, 22/02/2017, *Ac.* 22/02/2017)