

## Tecnologias Inovadoras e Eficiência Energética no Segmento de Revestimentos Cerâmicos

Mauro Donizeti Berni<sup>a\*</sup>, Sergio Valdir Bajay<sup>a</sup>, Ivo Leandro Dorileo<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Rua Cora Coralina, 330, CEP 13083-896, Campinas - SP, Brasil

<sup>b</sup>Núcleo Interdisciplinar de Estudos em Planejamento Energético, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança, CEP 78060-900, Cuiabá - MT, Brasil

\*e-mail: [mberni@unicamp.br](mailto:mberni@unicamp.br)

**Resumo:** A indústria cerâmica brasileira, de grande importância socioeconômica para o país, apresenta participação de 1,6% no Produto Interno Bruto brasileiro, correspondendo a aproximadamente 9 bilhões de dólares. Neste contexto, a permanência e a ampliação dos seus mercados requerem da indústria cerâmica uma contínua avaliação das tecnologias comercialmente disponíveis, cuja incorporação nos processos industriais cerâmicos pode conduzir a um aumento constante de produtividade e competitividade, advindo reflexos importantes na minimização do consumo de energia e da geração de efluentes e gases. Este trabalho, dividido em três etapas, objetiva a identificação de tecnologias inovadoras e as possíveis barreiras para sua difusão no setor cerâmico brasileiro. Na primeira etapa, identificam-se as demandas em termos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Na segunda etapa, faz-se um levantamento do “estado-da-arte” dos equipamentos e processos, incluindo-se as tecnologias inovadoras de uso transversal e possíveis barreiras para utilização. Ao final, é realizada uma análise da extensão e do uso efetivo das tecnologias inovadoras no curto, médio e longo prazos, apresentando-se uma matriz de impactos no processo produtivo de revestimentos cerâmicos. A análise dos processos de inovação tecnológica à disposição deste segmento industrial permite inferir que as empresas nacionais vêm procurando, em parceria com os órgãos de fomento e centros de pesquisa, melhorar o processo produtivo com a adoção de metas de eficiência energética e alternativas para a mitigação de impactos ambientais.

**Palavras-chaves:** *tecnologias inovadoras, eficiência energética, impactos ambientais, revestimentos cerâmicos.*

### 1. Introdução

A concorrência internacional vem exercendo sobre a indústria brasileira uma pressão crescente para que se adotem tecnologias inovadoras e mais “limpas”. É imperioso, na atualidade, que se trabalhe com plantas industriais sustentáveis capazes de minimizar o consumo de energia e de água, bem como reduzir a emissão de efluentes e gases que causam o efeito estufa e o descarte de resíduos.

No âmbito do setor industrial, o subsetor cerâmico, através do segmento de revestimentos cerâmicos, vem, ao longo dos últimos anos, investindo na melhoria de seus processos produtivos, incentivada por um comportamento econômico dinâmico, fato que abre boas perspectivas de manutenção de altas taxas de crescimento no futuro. A indústria cerâmica brasileira, de acordo Ministério de Minas e Energia em sua Sinopse de Mineração e Transformação Mineral 2012, mostra a sua relevância para o país, através da participação de 1,6 Produto Interno Bruto, correspondendo a quase 9 bilhões de dólares. Como se observa, é necessária a avaliação de tecnologias comercialmente disponíveis cuja incorporação em processos industriais cerâmicos conduza ao melhoramento da produtividade e da competitividade, com minimização do consumo de energia e de geração de efluentes e gases. Este trabalho está dividido em três etapas. Na primeira foram identificadas as demandas em termos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Na segunda etapa fez-se um levantamento do “estado-da-arte” dos equipamentos e processos para o segmento de revestimentos cerâmicos, incluindo-se as tecnologias inovadoras de uso transversal. Na última é realizada uma análise da extensão e do uso efetivo das tecnologias inovadoras no curto, médio e longo prazos, construindo-se uma matriz relativa aos impactos no

processo produtivo. A construção desta matriz atende ao fato de que existe consenso de que a promoção do desenvolvimento sustentável é uma das principais alternativas e que, certamente, o setor industrial como um dos principais atores, está sendo chamado para oferecer a sua contribuição efetiva, compatibilizando seu desenvolvimento, ao utilizar tecnologias inovadoras, com a mitigação de efeitos ambientais. A introdução de equipamentos e processos produtivos visando a este desenvolvimento deve ser entendida como uma forma de condução e mudança qualitativa nos negócios, que considera a busca do atendimento das necessidades de todos os atores envolvidos (acionistas, clientes, fornecedores, comunidade, etc.), sem prejudicar a capacidade de a organização atender às futuras necessidades das partes interessadas, com abordagem de equilíbrio entre os aspectos energéticos, socioeconômicos e ambientais.

A adoção de tecnologias inovadoras, mais colaboradoras do meio ambiente, associada com a chamada Produção Mais Limpa (Produção Mais Limpa significa a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados, com benefícios ambientais e econômicos para os processos produtivos), tem sido a principal estratégia do setor industrial para garantir o seu licenciamento ambiental, para atender às leis e normas ambientais e para garantir mercados, com produtos “amigos” do meio ambiente, tornando-se vantagem comparativa entre os mercados<sup>1</sup>. Especificamente, em relação ao setor cerâmico, a análise dos processos de inovação tecnológica à disposição do

segmento de revestimentos cerâmicos permite inferir que as empresas nacionais vêm procurando, em parceria com órgãos de fomento e centros de pesquisa, melhorar o processo produtivo com a adoção de metas de eficiência energética e alternativas para a mitigação de impactos ambientais.

## 2. Metodologia

O parque industrial da indústria cerâmica no Brasil constitui-se por um conjunto muito heterogêneo de empresas. Seus diferentes segmentos consomem uma diversidade de substâncias minerais *in natura* ou beneficiadas, cujas variedades empregadas dependem do tipo de produto e da localização da planta. O setor industrial cerâmico pode ser dividido nos seguintes segmentos: i) revestimentos cerâmicos, ii) cerâmica vermelha, iii) materiais refratários, iv) louça sanitária e mesa, v) isoladores elétricos e térmicos, vi) cerâmica artística; e vii) filtros cerâmicos de água para uso doméstico.

Os segmentos de revestimentos cerâmicos e o de cerâmica vermelha são os mais importantes do setor industrial cerâmico, devido ao seu faturamento, à geração de empregos e ao elevado consumo de energia. Sabe-se que a experiência internacional de mais de 30 anos nos países desenvolvidos, que serve de referência aos países em desenvolvimento, demonstrou que a agregação tecnológica e a gestão de processos podem resultar em economias de energia substanciais, refletindo-se em menor impacto ambiental.

A abordagem adotada considera o estado-da-arte e a difusão das inovações tecnológicas já ocorridas nas indústrias cerâmicas espanhola e italiana, e suas possibilidades de aplicação à realidade deste setor industrial no Brasil, no segmento de revestimentos cerâmicos. Assim, o estudo exploratório foi baseado na literatura e em documentos obtidos a partir de uma pesquisa de informações disponibilizadas sobre revestimentos cerâmicos, inovação tecnológica e eficiência energética. A principal fonte de dados foi o banco de publicações do *ISI Web of Knowledge*, denominado *Web of Science*, acessada via portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)<sup>2</sup>, a partir de parâmetros de busca, tendo como chave: revestimentos cerâmicos e suas relações com tecnologias inovadoras, eficiência energética e impactos ambientais. Bibliografias afins ao tema foram analisadas mais detalhadamente ou através de leitura de resumos disponibilizados, para a compreensão da magnitude e dos reflexos na evolução do estado-da-arte do segmento cerâmico no âmbito mundial. Além disso, foi realizada ampla pesquisa na internet contemplando as principais instituições científicas e de pesquisa, bem como revistas especializadas que desenvolveram e publicam pesquisas sobre este tema.

## 3. Pesquisa & Desenvolvimento e a Competitividade Industrial

O desenvolvimento de tecnologias inovadoras é uma resposta da Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) às questões de ordem mercadológicas, que na atualidade, tem como principal apelo a sustentabilidade. A velocidade com que são incorporadas essas tecnologias pelo setor industrial é razão direta da competitividade. A rapidez de aprendizagem e a incorporação da nova tecnologia passaram a ser uma vantagem competitiva importante para a indústria, com destaque para aquelas com forte inserção externa. De uma forma geral, verifica-se uma maior incidência de mudanças em intervalos de tempo mais curtos, provocando solicitações drásticas que afetam diretamente a vida das pessoas e requerem mudanças de hábitos, novos conhecimentos e novas habilidades, com especificidades diferenciadas para cada tipo de indústria.

No Brasil, apesar de todos os indicadores dos “paradigmas” serem pouco estimulantes ao desenvolvimento pleno da P&D, acredita-se que o país reúna condições de quebrar muitos, senão

todos os paradigmas, através da união e atuação coordenada dos atores fundamentais: Empresas, Governo e Universidade. A PITCE – Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior é um exemplo cujas estratégias estão sendo colocadas em prática. Só assim poder-se-á construir um modelo de negócio sustentável que viabilize a inserção definitiva do Brasil como um dos países geradores de tecnologia e não um simples consumidor. Um dos paradigmas é o da barreira monetária, visto que a liderança tecnológica é uma correlação direta entre potencial de mercado e a capacidade de investimento. Produtos mais sofisticados, que incorporam maior índice de tecnologia, têm um custo mais elevado. Outro paradigma é o gargalo educacional, pois existe a real necessidade de se reforçarem os recursos humanos para as Ciências e Engenharia, uma vez que a formação de talentos é inerente ao processo de criação e inovação; e os contornos das atividades produtivas que tendem a ganhar mais peso no futuro deverão requerer mais mão-de-obra com este perfil. O desafio consiste em preparar-se o quanto antes, pois os esforços do sistema educacional surtem efeito entre uma e duas décadas. Observem-se estatísticas disponíveis que mostram que economias, como a asiática e a americana, têm apresentado números crescentes de engenheiros e doutores, robustecendo a sua capacitação técnica e produção. Este fato mostra para o Brasil o que deve ser feito para tornar-se uma potência no desenvolvimento de tecnologias inovadoras.

Ao segmento de revestimentos cerâmicos está posta a necessidade de identificarem-se tecnologias emergentes e a sua incorporação para solucionar problemas específicos, como também, de forma continuada, para a sua sobrevivência no longo prazo numa situação globalizada de competição tecnológica. Nesta situação, existe a necessidade de políticas públicas indutoras para um programa de inovação tecnológica. Exemplo atual de política é o PITCE, que consiste em um plano de ação do Governo Federal com vistas ao aumento de eficiência da estrutura produtiva, ao aumento da capacidade de inovação da indústria brasileira e à expansão das exportações. No segmento de revestimentos cerâmicos a sustentabilidade pressupõe o gerenciamento dos fluxos de materiais e energéticos dos seus processos, visando a uma redução absoluta e relativa nestes fluxos e a uma produção de bens de fácil reúso ou reciclagem, de forma que o segmento seja competitivo e aumente o seu valor corporativo. Ressalte-se que não se pode perder de vista o aprimoramento tecnológico que vem sendo traçado por nossos principais concorrentes internacionais desenvolvidos e em desenvolvimento. Este avanço tem sido conduzido pelas diretrizes da inovação para ganhar mais mercado e aumentar a competitividade.

## 4. Tecnologias Inovadoras Passíveis de Uso em Processos Industriais Cerâmicos

Cada uma das tecnologias emergentes identificadas foi avaliada sob um enfoque matricial – cruzamento de informações – entre diferentes centros de pesquisa privados ou não, considerando as óticas de eficiência para a redução do consumo de energia, a viabilidade econômica e o desempenho ambiental. Outra variável importante foi a de desenvolvimento destas tecnologias, em termos do seu estágio técnico, quando possível: pesquisa básica, protótipo, cabeça de lote, demonstração e escala comercial, bem como barreiras e fomento para sua incorporação nos processos industriais dos setores enfocados na pesquisa. O segmento de revestimentos cerâmicos, onde predomina o aquecimento direto, o consumo final de energia vem diminuindo por conta da utilização de gás natural e outras fontes de energia em amplos programas de eficiência energética, concomitantemente com a incorporação de novas tecnologias, visando à maior competitividade no mercado. A lenha é o principal energético do segmento de cerâmica vermelha, seguida do gás natural (Tabela 1).

**Tabela 1.** Consumo final de energia no setor cerâmico<sup>3</sup>.

Fontes de Energia	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Lenha	48,6	49,1	50,1	50,1	49,9	49,1	51	50,7	51,1	51,1
Gás natural	23,1	25,2	23,9	24,3	25,5	25	24,2	23,8	25,6	27,6
Óleo combustível	11,4	9,2	9,2	7,8	8,1	8,1	7,7	7,8	6,6	2,7
Eletricidade	7,8	7,8	8,2	7,9	7,8	7,4	7,2	7,3	7,2	7,3
Outras	9,1	8,7	8,7	9,8	8,7	10,4	9,7	10,4	9,5	11,3
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

#### 4.1. Tecnologias inovadoras e a redução do consumo de energia, água e resíduos

No “jargão” do setor industrial, ações que incentivam o uso de tecnologias inovadoras, levando a um menor consumo de energia para auferir o mesmo serviço prestado, com reflexos positivos ao abatimento ambiental, recebem o nome de “medidas de eficiência energética”<sup>4</sup>. Os nichos, onde pesquisas e validações de novas tecnologias estão em andamento, compreendem a efficientização de sistemas de bombeamento, sistemas hidráulicos, ventiladores, tecnologias de membrana, secagem e sistemas de ventilação, compressores de ar, ar comprimido, uso de acionadores de velocidade variável, efficientização de compressores de fluido refrigerante, sistemas de refrigeração e ar condicionado; sistemas de manuseio de material e processamento, entre outros. A seguir, mostram-se exemplos das principais tecnologias inovadoras que, incorporadas aos processos industriais, podem proporcionar a sua efficientização econômica na medida em que reduz o consumo de energia e água, minimiza a geração de resíduos com a vantagem de diminuir impactos ambientais.

##### 4.1.1. Uso geral (cross technologies)

**Computação em Nuvem (cloud computing).** Esta tecnologia, fornecida por empresas de TI, está voltada para a busca da eficiência energética em processos. Ela permite que um arquivo ligado a qualquer processo produtivo seja acessado de um celular ou notebook, independentemente do tipo de equipamento, e cujas informações de controle estarão guardadas em servidores na WEB.

**Smart grid.** Trata-se de “uma rede de distribuição” que consegue integrar de forma inteligente as ações de todos os utilizadores a ela ligados (produtores, consumidores ou ambos), a fim de que um conjunto de bens e serviços seja disponibilizado eficientemente, a exemplo de sistemas de medição remota, gerenciamento de demanda, armazenamento de energia, uso de fontes alternativas, sensoriamento e comunicação de dupla direção, entre outros. Com esta tecnologia inovadora as empresas podem dispor de informações em tempo real sobre o uso final de seu produto, o que lhes permite contar com eficiência energética e melhorar sua performance competitiva.

**Light Emission Diode (LED).** Os LEDs compreendem um componente eletrônico semicondutor capaz de converter energia elétrica em luz com muito mais vantagens do que as lâmpadas incandescentes e halógenas.

**Sistemas de Iluminação.** Uma gama de lâmpadas avançadas, reatores, luminárias e tecnologias *light pipe* pode reduzir significativamente o consumo de energia e os gastos com manutenção associados à iluminação de instalações industriais. Além de sua maior durabilidade, os novos sistemas de iluminação proporcionam redução de calor nas áreas internas, resultando em menor carga de refrigeração, melhoria da segurança pela eliminação da iluminação relacionada com a fiação elétrica e os equipamentos instalados em áreas molhadas ou explosivas, possibilidade de utilização de outras fontes de luz não convencionais mais eficientes, mais específicas e esteticamente agradáveis, além de instalações e custos de manutenção reduzidos.

**Motor Elétrico de Alto Rendimento.** Desde 1993, os rendimentos nominais dos motores elétricos no Brasil são obrigados a apresentar índices mínimos de desempenho a fim de atender à Lei de Eficiência Energética. A partir de 2010, todos os motores fabricados ou comercializados no País são de “alto rendimento”.

**Acionadores de Velocidade Ajustável (AVAs).** Compreendem conversores de frequência que, ao serem utilizados no acionamento de cargas centrífugas, com fluxo variável, podem proporcionar uma economia de energia entre 15% e 50%. Além disso, a aplicação de AVAs gera outros benefícios, como melhor controle do processo; diminuição de ruído; redução da manutenção necessária graças às partidas e paradas mais suaves não só da bomba e do motor, mas de todo o sistema hidráulico, por evitar os golpes de ariete. Sua utilização requer, entretanto, atenção específica, em virtude de alguns problemas que podem ocorrer, como a geração de harmônicos na rede e o sobreaquecimento do motor.

**Tecnologias de Membranas.** As membranas são meios filtrantes, produzidos em geral a partir de materiais poliméricos, que apresentam poros de dimensões variadas. Esses poros servem tanto para separar partículas como para fracionar moléculas de diferentes massas molares. Na condição de barreiras seletivas que atuam como uma espécie de filtro, as membranas são capazes de promover separações em sistemas nos quais os filtros comuns não são eficientes. A tecnologia de membranas é utilizada, sobretudo, na separação de contaminantes da água e para a recuperação de substâncias e subprodutos.

**Tecnologia de Membranas Líquidas.** A membrana líquida oferece uma alternativa para a extração líquido-líquido, utilizando muito menos energia. Esta tecnologia pode ser usada para separar as misturas aquosas e orgânicas. Por exemplo, da separação de uma mistura de álcool isopropílico e água, esta membrana utiliza 60% menos combustível do que o processo líquido-líquido.

**Equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado.** Na indústria de transformação, diversas instalações de alta tecnologia utilizam uma quantidade significativa de energia para colocar em funcionamento os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC – *heating, ventilation, and air-conditioning equipment*). A intensidade da energia utilizada por essas instalações costuma ser, no mínimo, cinco vezes maior do que a solicitada por edifícios comerciais. Em alguns casos, as cargas de HVAC chegam a responder por 40-50% da energia total consumida por uma planta industrial. Existem várias tecnologias de HVAC que, quando combinadas, possibilitam economias significativas de energia. Atualmente, uma grande quantidade de energia é gasta em aquecimento, refrigeração e filtragem de ar que é depois liberado para a atmosfera. Minimizando esse fluxo, reduz-se a quantidade de ar que precisa ser filtrado. Uma tecnologia desenvolvida pelo Lawrence Berkeley National Laboratory, dos EUA, denominada *Laboratory Fume Hoods*, baseada na utilização de pequenos sistemas de HVAC, permite economizar até 75% de energia, quando comparada com os sistemas tradicionais.

Todas as *cross technologies* impactam, em maior ou menor medida, os processos industriais, porque permitem reduzir o consumo

de energia, a geração de resíduos e a emissão de gases de efeito estufa, com reflexos para o aumento de competitividade industrial, conforme mostrado na Tabela 2.

#### 4.1.2. Uso específico no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos

Nos últimos 30 anos ocorreram grandes transformações no processo produtivo de revestimentos cerâmicos, graças principalmente à incorporação de tecnologias inovadoras relacionadas com os equipamentos, havendo-se conseguido resultados positivos em termos de produtividade, qualidade e otimização energética. A área de TI, apesar de ainda ser incipiente no setor, já tem propiciado retornos como o incremento da flexibilidade e qualidade do produto final, aumentando a competitividade das empresas. A dificuldade em incorporar ao setor cerâmico o controle dos processos através da TI se deve ao fato de que este setor trabalha com sólidos, e o nível de conhecimento existente sobre as operações unitárias que envolvem sólidos é ainda bastante limitado. O segundo aspecto que dificulta o controle automático deriva da natureza estrutural do produto cerâmico, que exige numerosas e complexas características finais, tais como baixa porosidade e resistência ao desgaste. Um terceiro aspecto que dificulta a incorporação da automação neste segmento industrial é a ampla variedade de produtos que uma mesma empresa deve hoje fabricar<sup>6</sup>.

As diferentes operações unitárias que constituem o processo cerâmico, como a moagem, a secagem por atomização, a prensagem, etc., não são independentes. A execução incorreta de qualquer das etapas do processo afeta o desenvolvimento das etapas seguintes, e também as características dos produtos intermediários (porosidade, permeabilidade, etc.), bem como as dos produtos acabados. O processo de fabricação de revestimentos cerâmicos deve ser considerado como um conjunto de etapas interconectadas que vão progressivamente transformando as matérias-primas em produtos acabados. Desta forma, a incorporação de tecnologias inovadoras para o controle automático dos processos industriais utilizados na fabricação de revestimentos cerâmicos não pode e nem deve limitar-se às etapas individuais.

Na moagem, a principal dificuldade do controle automático é a seleção de elementos de medidas confiáveis da densidade e da viscosidade, dadas as exigentes condições industriais de operação. No momento, a medida da densidade industrial de suspensões pode ser considerada como um problema resolvido com o emprego dos densímetros de efeito Coriolis. A tendência do controle nesta etapa passaria futuramente pelo projeto de um sistema de controle avançado capaz de medir a densidade, a viscosidade e, inclusive, o resíduo. A incorporação de resíduo, ainda que tecnicamente possível, gera dificuldades cuja solução não está prevista no curto prazo. Na secagem por atomização, a distribuição de tamanhos dos grânulos (DTG) determina a fluidez do pó, a qual incide no seu comportamento, fundamentalmente durante o preenchimento das cavidades da prensa.

Projetos desenvolvidos pelo Instituto de Tecnologia Cerâmica (Castela, Espanha) permitiram um importante avanço no controle das variáveis de temperatura especificadas dos gases e a umidade do pó atomizado, por meio de medidores de infravermelhos, juntamente com um coletor de amostra de pó atomizado<sup>6</sup>. A DTG pode ser medida automaticamente. Ressaltam-se, entretanto, o elevado custo dos sensores e o fato de que, com o *design* atual dos atomizadores, e em particular das boquilhas, não se pode facilmente modificar a distribuição granulométrica. Para o controle automático da secagem podem ser utilizadas sondas de temperatura que são introduzidas no secador e fornecem dados sobre a curva de temperatura dos gases ou a superfície das peças. A informação da curva de temperatura dentro de um secador permite detectar zonas onde a secagem é excessivamente lenta, com a conseqüente perda de rendimento e a elevação do consumo de energia, ou excessivamente rápida, suscitando problemas de trincas e de qualidade do revestimento cerâmico. A temperatura na saída do secador só é medida por pirômetros óticos dotados de um indicador em que o operador pode ler o grau instantâneo da temperatura. Ressalte-se que um software que permite combinar a informação sobre a temperatura média da peça na saída do secador com a sua posição dentro dele já foi desenvolvido. Na operação de prensagem, a medida da densidade aparente é realizada, via de regra, de forma manual ou semiautomática, mediante o procedimento de imersão em mercúrio. Emprega-se, por exemplo, o ultrassom para esta finalidade, com resultados muito promissores<sup>6</sup>. Além disto, vem-se incorporando a instalação de sensores extensiométricos na punção da prensa, a fim de medir a distribuição da pressão no suporte durante a sua compactação, juntamente com sensores infravermelhos destinados a determinar a umidade do pó. Na etapa da esmaltação e decoração podem ser incorporadas ao processo industrial células de carga, acopladas ou não, com um medidor de vazão eletromagnético que registra a vazão do esmalte aplicado e corrige os desvios, atuando sobre uma válvula motorizada. A etapa da queima, em que ocorre o maior consumo de energia térmica, tem na distribuição da temperatura longitudinal e transversal, na pressão e na composição dos gases as principais variáveis a serem controladas no forno. No controle do processo da queima, utiliza-se o rolo multitermopar, que permite medir os perfis de temperatura de forma contínua. O estado-da-arte da incorporação de tecnologias inovadoras nas diferentes etapas do processo de fabricação de revestimentos cerâmicos está resumido na Tabela 3.

A incorporação de tecnologias inovadoras, com vistas à busca de novos usos e aplicações que permitam ampliar os mercados atuais para os produtos cerâmicos, e da necessidade premente de permanecer nesses mercados, tem sido outra estratégia das plantas de revestimentos cerâmicos. Além das cerâmicas avançadas para aplicações especiais, constata-se a incorporação de tecnologias inovadoras para aprimorar e agregar valor aos produtos tradicionais e para os resíduos de processo. No caso dos produtos tradicionais, vale destacar três opções tecnológicas, a saber:

**Tabela 2.** Matriz de tecnologias inovadoras de uso geral e a magnitude dos impactos sobre o processo produtivo<sup>5</sup>.

Tecnologia	Maturidade	Redução			Aumento de competitividade
		Energia	Água	Resíduos	
Tecnologia de LED'S	Nova				
Motor alto rendimento	Comercial				
Sistemas de iluminação	Comercial				
AVAs	Comercial				
Tecnologia de membranas	Nova				
Membranas líquidas	Piloto				
Equipamentos de HVAC	Nova/comercial				

Magnitude do impacto - ■ Alto; ■ Médio; ■ Baixo; ■ Não se aplica.

**Tabela 3.** Matriz de tecnologias inovadoras de uso específico<sup>6</sup>.

Etapa	Variáveis	Med.*	Tecnologia de Medida contínua	Variável manipulada	Man.*	Uso
Moagem	Densidade da suspensão	A	Sensor de efeito Corolis	Vazão de Água	A	Baixo
	Viscosidade da suspensão	A	Sensor vibrante	Vazão de Defloculante	M	
	Resíduos	M			M	
Atomização	Vazão da Suspensão	A	Sensor eletromagnético	Pressão das bombas	M	
	Umidade do pó atomizado	A	Sensor infravermelho	Válv.queim. - temp. gases	A	Médio
Prensagem	Umidade do suporte	A	Sensor infravermelho	Pressão máxima	A	Baixo
	Densidade ap. do suporte	M		Pressão máxima	M	
Secagem	Temperatura do suporte	A	Pirômetro óptico	Temp. - Distr. gases	M	
	Umidade do suporte	A	Sensor infravermelho	Temp.gases - ciclo secagem	M	
Esmaltação	Vazão do esmalte	A	Sensor eletromagnético	Abertura de válvula	A	Baixo
	Densidade do esmalte	M		Quantidade de água	M	
	Viscosidade do esmalte	M		Qtde de água-aditivos	M	
Decoração	Visual da peça decorada	A/M**	Câmara CCD	Várias	M	
	Várias	M		Várias	M	
Queima	Dimensões da peça	A	CCD Linear	Temperatura - outra	M	
	Curvatura da peça	A	Telêmetro lasers/ultrasons	Temperaturas - outras	M	
	Aspecto visual da peça	M		Temp.ciclo-ar-queimadores	M	
Classificação	Dim. e curvatura das pçs	A	CCD Linear e telêmetros		A	Alto
	Aspecto visual das peças	A/M***	Câmaras CCD		A	Médio

\*A: Automática; M: Manual; \*\* a inspeção automática na linha de decoração se encontra em uma fase incipiente de desenvolvimento; e \*\*\*em alguns casos a classificação automática não é completamente confiável.

- Revestimentos com novas coberturas catalíticas que podem ser ativados por radiação ultravioleta e hidrofóbica. Tem-se a formação de superfícies aptas a destruir matéria orgânica que nelas se deposita ou que as toca, a aumentar a molhabilidade superficial e a facilitar o escoamento de água que é depositada, natural ou artificialmente, nessas superfícies;
- Revestimentos com reguladores de umidade ambiente. Este revestimento apresenta pequenos poros aparentes e com distribuição controlada que, juntamente com a natureza específica da sua composição, permitem a troca de umidade com o ambiente circundante; e
- Revestimentos equipados com elementos funcionais. Neste caso, os avanços da TI por meio da tecnologia de sensores e da miniaturização podem ser acoplados com relativa facilidade aos revestimentos cerâmicos, proporcionando-lhes funcionalidades novas e não tradicionais. Estes sensores podem ser instalados em peças de variadas formas e gerar sinal elétrico que pode ser transmitido para vários sistemas, como iluminação, sistemas acústicos ou de outra natureza, telemetria com transmissão via ondas de rádio, etc.<sup>7</sup>

Merece destaque a utilização da tecnologia Hot Isostatic Pressing (HIP) no setor cerâmico, que possibilita a produção de um novo produto de alto valor agregado a partir de resíduos gerados durante a fabricação de revestimentos. A tecnologia da compactação isostática a quente é uma técnica de metalurgia do pó para produção de pré-formas ou peças. Na indústria cerâmica, esta tecnologia vem sendo adotada na fabricação de cerâmica celular, que tem ampla aplicação na indústria de metais fundidos, na petroquímica, na eletrônica e na biomedicina, além da construção civil, como isolantes térmicos, isolantes acústicos, preenchimentos leves para lajes e, ainda, por se tratar de uma cerâmica resistente a chamas. Na fabricação da cerâmica celular usam-se rejeitos obtidos no tratamento de efluentes de uma planta cerâmica de revestimentos – o caso do carbetto de silício. Nesta tecnologia empregam-se pós atomizados com gás inerte e prensados isostaticamente a quente, em temperatura e pressão da ordem de 1100 °C e 100 MPa, respectivamente. No Brasil, o uso

desta tecnologia inovadora ainda é limitado, mesmo com a existência de expertise nacional em centros de pesquisas, como é o caso do Departamento de Materiais da Universidade Federal de São Carlos.

Com relação à sustentabilidade no uso de água, é uma variável crítica para o segmento de revestimentos cerâmicos, visto que em quase todas as etapas do processo de fabricação sua qualidade é essencial na preparação da argila e de esmaltes líquidos, nos corpos de argila para extrusão e moldagem, e na moagem por via úmida. Nas plantas deste segmento a sustentabilidade tem sido requerida pelo mercado. Tecnologias inovadoras são utilizadas na minimização do volume dos diversos tipos de rejeitos industriais, tais como efluentes líquidos, emissões atmosféricas e rejeitos sólidos. Estes, por sua vez, de acordo com a legislação em vigor, devem ter um destino ou tratamento apropriado. As fontes geradoras de efluentes líquidos são a preparação de esmaltes e linha de esmaltagem, sendo que para um processo via úmida, ocorre a geração de efluente líquido da preparação de massa – moagem e atomização – quando estes equipamentos são lavados. O tratamento de efluentes pode ser realizado através de processos físico-químicos, como peneiramento, equalização, adição de coagulantes, floculantes, decantação, filtro-prensagem e membranas. Quanto aos resíduos sólidos, o grande problema tem sido seu descarte<sup>8</sup>. Estes se acumulam, gerando um grande volume e, conseqüentemente, a necessidade de um vasto espaço para armazenamento. Os custos para descarte destes materiais em aterros certificados pelos órgãos ambientais são elevados, mas necessários, uma vez que resíduos depositados em aterros de forma desordenada podem trazer inúmeros efeitos, como a contaminação do solo, rios, lençóis freáticos, ou seja, influenciam negativamente em todo o ciclo biológico presente<sup>9</sup>. A redução e a reutilização e/ou reciclagem dos resíduos industriais tornam-se fatores fundamentais para as plantas cerâmicas, pois transformará um rejeito em matéria-prima, tendo-se, portanto, retorno econômico e redução de impactos ambientais.

Nas plantas de revestimentos cerâmicos os resíduos sólidos podem ser divididos em resíduos convencionais e aqueles originados do processo produtivo. De uma forma geral, estes resíduos são captados em local próprios – convencionais – ou em canaletas que

cortam a planta com a água fazendo seu arraste até uma estação de tratamento de efluentes. Nesta etapa, o processo de purificação pode ocorrer através de uma das variações das tecnologias de membranas ou ainda, através de equipamento de flotação com uso de floculantes químicos que propicia a coagulação e, posteriormente, a sedimentação e retirada deste material. Água limpa pode retornar para o processo industrial, enquanto que materiais separados seguem para novos processamentos de reutilização e/ou reciclagem. O exame de alternativas para reutilização e/ou reciclagem de resíduos visa à redução do uso de matérias-primas, à redução da emissão de gases e da geração de substâncias tóxicas, além de economia de energia. Possível aplicabilidade dos materiais separados em estação de tratamento de efluentes, caso do carbetto de silício, é a produção de cerâmica celular através da tecnologia HIP. Por outro lado, materiais convencionais separados têm sido intensamente utilizados na fabricação de pavimentos e ladrilhos cerâmicos de menor valor agregado.

## 5. Considerações Finais

No Brasil destaca-se a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM) ([www.abceram.org.br](http://www.abceram.org.br)) como principal instituição representativa do setor cerâmico. Esta associação tem como objetivo promover o desenvolvimento sustentado do setor, bem como defender os interesses mercadológicos no âmbito interno e externo. Além disto, através de convênios com centros de pesquisa no Brasil e no exterior, busca garantir a capacitação técnica da indústria nacional. No País, além do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), o Departamento de Materiais da Universidade Federal de São Carlos e o Centro Multidisciplinar para o Desenvolvimento de materiais Cerâmicos (CMDMC) da UNESP figuram como principais parceiros na geração de tecnologias inovadoras para a indústria cerâmica brasileira. No exterior, Centros de Pesquisa da Espanha e Itália, respectivamente, Instituto de Tecnologia Cerâmica de Castela e Instituto Cerâmico de Bologna são as referências mundiais no desenvolvimento tecnológico para esta indústria, sobretudo no que se refere aos equipamentos. Os desenvolvimentos tecnológicos destes centros de pesquisa funcionam como *benchmarking* para a indústria nacional. O conhecimento gerado com pesquisa básica em centros de pesquisa brasileiros é empregado de forma direta ou indireta para resolver problemas tecnológicos, tais como desenvolvimento de novos materiais, novos processos e novos produtos. Este conhecimento é também usado para a educação em nível de graduação e pós-graduação, propiciando a proposição continuada de P&D em temas relevantes para a manutenção da competitividade da indústria cerâmica brasileira. Por exemplo, o CMDMC/UNESP coloca à disposição da iniciativa privada uma ampla infraestrutura laboratorial e corpo técnico-científico altamente capacitado para o desenvolvimento de processos e produtos de alto grau tecnológico, metodologias e técnicas para controle de qualidade, bem como para o desenvolvimento de projetos de P&D que cobrem a área técnica de gestão, produtos e processos. Como projetos de P&D do CMDMC/UNESP podem-se destacar: i) Obtenção de refratários inertes à corrosão; ii) Obtenção de pigmentos cerâmicos; iii) Processos de eliminação de defeitos em peças cerâmicas de

revestimento; iv) Obtenção dos revestimentos especiais de alta qualidade, entre outros.

Considera-se, ainda, devido ao crescente interesse pela questão ambiental e pelo impacto atribuído ao setor industrial, que estudos relacionados ao meio ambiente, uso de energéticos e de água devam ser implementados, principalmente por usos finais dos processos, o quanto mais desagregados. A divulgação dos benefícios ambientais pode ser utilizada como *marketing*. Reduções de consumos específicos de água ou de energia, ou de outros insumos que entram no processo produtivo, podem ser obtidas mediante programas contínuos de P&D. Estes, além de resultarem em economia de produção, podem ajudar, substancialmente, as plantas industriais a alcançar o conceito de impacto mínimo, promover *marketing* ambiental positivo para a empresa e, desta forma, repercutir favoravelmente nas transações comerciais.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Confederação Nacional da Indústria (CNI) e do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da UNICAMP para a realização das pesquisas e desenvolvimento deste trabalho.

## Referências

1. BERNI, M. D.; BAJAY, S. V.; GORLA, F. D. **Oportunidades de eficiência energética na indústria**: relatório setorial do setor cerâmico. Brasília: CNI, 2010. 75 p.
2. COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES. **Portal de Periódicos da Capes**. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acesso em: out. 2012.
3. EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS – EPE. **Balço Energético Nacional 2012**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2012.
4. BAJAY, S. V. et al. **Caracterização energética dos setores industriais**: relatório técnico do projeto versando sobre “análise e desenvolvimento de metodologia visando a implementação de projetos de eficiência energética na indústria”. Campinas: CNI; Universidade Estadual de Campinas, 2008. 125 p.
5. BERNI, M. D. et al. **Desenvolvimento de Estudo de Identificação de Tecnologias Inovadoras para Processos Industriais**. CNI - Confederação Nacional da Indústria, Instituto Euvaldo Lodi, 2009. Processo SAP n. 13.313/2008 e CIA n. 01 1266/2008.
6. GASCH, J. G. M. Controle e automação na indústria cerâmica: evolução e perspectivas. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 6, p. 25-27, nov./dez. 2008.
7. BERTO, A. M. Revestimentos Cerâmicos: Acima e Além das Aplicações Tradicionais. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 6, p. 7-12, nov./dez. 2008.
8. PRADO, U. S. et al. Obtenção de Fritas Utilizando Resíduos Industriais: Uso de Resíduo Perigoso da Indústria do Alumínio. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 6, p. 33-37, nov./dez. 2008.
9. DAGOSTIN, B. R. Fabricação de Pavimentos Cerâmicos e Cerâmica Celular a partir da Reutilização de Resíduos Sólidos – Adequação Laboratorial e Industrial. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 12, n. 3, p. 15-26, maio/jun. 2007.