

Análise do Consumo de Energia Térmica no Setor Brasileiro de Revestimentos Cerâmicos

**Helton José Alves^a, Fábio Gomes Melchiadés^a,
Hudson Barreto de Brito^b, Anselmo Ortega Bosch^{a*}**

^a*Laboratório de Revestimentos Cerâmicos – LaRC, Departamento de Engenharia de Materiais,
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Rod. Washington Luiz, Km 235,
CP 2068, CEP 13574-970, São Carlos - SP, Brasil*

^b*Companhia de Gás de São Paulo – COMGÁS, São Paulo - SP, Brasil*

**e-mail: daob@ufscar.br*

Resumo: Os gastos com energia térmica correspondem a uma das maiores parcelas do custo de produção de revestimentos cerâmicos no Brasil e no mundo. O conhecimento por parte das indústrias sobre o consumo térmico envolvido na obtenção de revestimentos cerâmicos é essencial, pois permite que medidas corretivas relacionadas às condições de operação dos equipamentos possam ser tomadas quando necessárias, desperdícios sejam evitados e futuras decisões sobre a aquisição de equipamentos sejam tomadas assertivamente, visando o uso mais eficiente da energia e a redução de custos. Neste artigo são apresentados os resultados de um trabalho de monitoramento do consumo de gás natural de fornos, secadores e atomizadores, realizado em fábricas de revestimentos cerâmicos de Via Seca e Via Úmida, localizadas em diferentes regiões do Brasil. Os dados obtidos foram tratados e organizados de acordo com a tipologia de produto produzida, características dos equipamentos, tecnologias de produção, dentre outros.

Palavras-chave: *gás natural, revestimentos cerâmicos, via seca, via úmida.*

1. Introdução

O aumento do consumo de combustíveis para geração de energia térmica nas indústrias de revestimentos cerâmicos foi durante muito tempo um indicador indireto do avanço da produção¹. Nos últimos anos muitas indústrias investiram em melhorias na área de eficiência energética, possibilitando o incremento da produtividade sem aumentar o consumo. Entretanto, em boa parte das indústrias brasileiras são encontrados equipamentos de gerações anteriores, que não possuem todos os recursos tecnológicos atualmente disponíveis e que muitas vezes operam em condições de baixa eficiência energética.

O Brasil é atualmente o segundo maior produtor mundial de revestimentos cerâmicos e também o segundo maior mercado consumidor de pisos e azulejos do mundo². O consumo térmico estimado deste setor no país é superior a $6,0 \times 10^{11}$ kcal/mês, sendo que o gás natural é o principal combustível utilizado. Apesar dos números altamente expressivos, existem poucos dados disponíveis a respeito do consumo energético do setor, ao contrário de países como Espanha e Itália que possuem essas informações há mais de uma década³⁻⁵. Convém ressaltar ainda que no Brasil são utilizadas duas rotas radicalmente distintas para a fabricação de revestimentos cerâmicos (Via Seca e Via Úmida) e que o parque tecnológico é constituído por equipamentos de gerações diferentes. Através de um estudo preliminar realizado nos anos de 2007⁶ e 2008⁷ em algumas empresas do setor no Brasil, foi observada a existência de grandes diferenças de consumo entre as empresas e também entre os equipamentos que operam em uma mesma fábrica, possivelmente em razão de suas características construtivas e condições de operação.

O conhecimento dos valores de consumo dos equipamentos de uma fábrica é uma valiosa ferramenta que pode ser utilizada para auxiliar na avaliação da eficiência energética obtida no processamento do produto e no planejamento estratégico da empresa em futuros

investimentos, visando à redução de custos de produção, o aumento da produtividade e a compra assertiva de novos equipamentos.

Na maioria das fábricas brasileiras os dados sobre o consumo de gás natural dos equipamentos são registrados diariamente e armazenados em um sigiloso banco de dados interno, sem passarem muitas vezes por nenhuma correção que leve em consideração as despressurizações da rede, por exemplo. Como este procedimento acaba sendo realizado como apenas uma rotina de fábrica e os valores registrados não indicam corretamente o consumo do equipamento, o mesmo não se justifica. Neste sentido, o registro do volume de gás natural consumido é válido desde que os valores obtidos sejam corretamente corrigidos com base na pressão e na temperatura do gás natural, medidas em pontos adequados da tubulação⁷.

Em vista do acima exposto, o objetivo do presente trabalho foi levantar de maneira representativa o perfil do consumo térmico do setor brasileiro de revestimentos cerâmicos, contribuindo para a melhoria da eficiência dos processos que utilizam gás natural.

2. Metodologia

Inicialmente, foi realizada a seleção das indústrias que participariam do trabalho baseada na capacidade de produção em m²/mês, rota de produção (seca ou úmida), tipologia de produtos, características dos equipamentos consumidores, dentre outros. De acordo com a seleção, o somatório de produção das indústrias correspondeu à aproximadamente 20% da produção nacional de revestimentos cerâmicos (em m²) e 35% da produção de pó atomizado (em t). Estas empresas estão localizadas nos Estados de São Paulo e Santa Catarina.

Em seguida, foram realizadas as primeiras visitas às empresas que manifestaram interesse em participar do trabalho, com os

seguintes objetivos: conhecer as instalações da fábrica; verificar as condições de operação dos equipamentos consumidores; verificar o local de instalação na tubulação e o funcionamento dos indicadores de consumo (manômetros e medidores de vazão do gás natural); indicar ações corretivas para garantir a precisão nas medidas, caso necessárias; estabelecer, em conjunto com os funcionários que operam os equipamentos, os pontos onde as medições deveriam ser realizadas e a frequência das mesmas; e levantar dados gerais sobre os equipamentos e os produtos produzidos.

Os valores de pressão, volume de gás natural consumido e temperatura, foram registrados na maioria das fábricas, três vezes ao dia durante um mês. Os dados gerados foram tratados e corrigidos (normalizados)³, proporcionando conhecer o real consumo térmico de cada equipamento monitorado. De acordo com as informações sobre o produto, o volume de produção e as condições de operação dos fornos, secadores e atomizadores, foi gerado um banco de dados sobre o consumo térmico envolvido na fabricação de revestimentos cerâmicos, sendo possível estabelecer comparações entre o consumo de diversas tipologias de produtos, distintas rotas de processamento, equipamentos com características construtivas diferenciadas, etc.

3. Resultados e Discussão

No total foram monitorados 28 fornos, 21 secadores e 11 atomizadores distribuídos em 9 fábricas. Com base nos dados do monitoramento foram estimados os consumos médios de cada fábrica (Tabela 1), obtidos pelo somatório da média de consumo de gás natural dos secadores, fornos e atomizadores. Os valores expressos em kcal.kg⁻¹ possibilitam a determinação da quantidade de energia envolvida no processamento de certa quantidade de massa de material produzido, permitindo a comparação direta entre produtos que apresentam espessuras diferentes. Na maioria das fábricas de Via Seca, o monitoramento do consumo térmico foi realizado em equipamentos que produziam revestimentos do tipo BIIb, com formato nominal de 43 × 43 cm e espessura de 7,0 mm. Já nas fábricas de Via Úmida, devido à maior variedade de tipologias de revestimentos produzidos, não foi possível monitorar equipamentos que produziam exatamente o mesmo tipo de produto.

Analisando os dados da Tabela 1, nota-se que existem diferenças significativas no consumo térmico específico entre as empresas que participaram deste trabalho. Tais diferenças foram observadas não somente entre as indústrias que utilizam rotas de processamento distintas (Via Seca e Via Úmida), mas também entre as indústrias que utilizam a mesma rota. Analisando o consumo das indústrias de Via Seca, verifica-se que a diferença entre as empresas que apresentaram o maior e o menor valor, D e C respectivamente, foi superior a 100 kcal/kg, ou seja, D possui consumo 17,4% maior do que C. Quando a mesma análise é feita com os resultados das

empresas de Via Úmida, se observa que as diferenças de consumo são maiores ainda, superando 30,0% (empresa I possui consumo 32,0% maior do que a empresa F). Vale destacar ainda que o principal motivo da discrepância existente entre o consumo médio das fábricas de Via Seca e de Via Úmida é a presença do atomizador no processamento do revestimento por Via Úmida.

Para facilitar a interpretação do grande número de dados obtidos, os mesmos foram agrupados da seguinte maneira:

- consumo total por tipologia de produto (Figura 1);
- consumo dos equipamentos por tipologia de produto (Figuras 2, 3 e 4);
- consumo dos equipamentos por rota de processamento (Figuras 5 e 6);
- consumo dos equipamentos por fabricante (Figuras 7, 8 e 9);
- relação entre o consumo e as variáveis do processo e de cada equipamento (Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16);
- consumo energético por etapa do processamento (Figuras 17 e 18).

Os seguintes símbolos foram atribuídos às tipologias de produto avaliadas:

- SG = Semi-Grês
- PT = Porcelanato Técnico
- PE = Porcelanato Esmaltado
- MQV = Monoqueima Vermelha
- MQC = Monoqueima Clara
- MP = Monoporosa

Na maioria das figuras que indicam o consumo das tipologias de produtos e dos equipamentos, pode ser notada a existência de uma linha ao invés de uma barra cheia. Neste caso, a linha indica que a representatividade do resultado é menor, tendo em vista o pequeno número de equipamentos monitorados.

Com base nos resultados apresentados nas Figuras de 1 a 4, pode-se dizer que existem grandes diferenças no consumo térmico específico de acordo com a tipologia de revestimento cerâmico produzida. É possível verificar ainda que existem equipamentos que produzem a mesma tipologia de produto, porém com consumos específicos bastante distintos, o que evidencia as possibilidades de melhorias com respeito à redução do consumo térmico do processo.

Na Figura 1, nota-se que o consumo de gás natural (GN) envolvido na produção de revestimentos da tipologia MQV é o menor, embora a secagem desta tipologia de produto seja a que consome maior energia. Neste caso, o menor consumo dos fornos (Figura 2) e a ausência do atomizador, garantem o seu baixo consumo. A tipologia que envolve o maior consumo térmico é a MQC, devido principalmente, ao elevado consumo dos fornos (Figura 3) e atomizadores (Figura 4).

Vale destacar que os fornos envolvidos na queima da tipologia MP apresentaram o maior consumo térmico específico (Figura 3), superando inclusive o consumo dos fornos que produzem produtos MQC. Uma possível explicação para o fato dos fornos utilizados para a produção de PE consumirem menor energia térmica em relação aos fornos que produzem produtos MQC e MP pode estar associada às gerações diferentes dos equipamentos utilizados, tendo em vista que, de uma forma geral, as linhas de produção utilizadas para a produção de porcelanatos no Brasil são mais modernas do que as linhas utilizadas para as demais tipologias de produtos.

Em relação aos atomizadores avaliados, nota-se uma grande variação do consumo de acordo com a tipologia produzida, sendo observados equipamentos que apresentam consumo cerca de 50% maior do que os mais econômicos (Figura 4).

Nas Figuras 5 e 6 são encontrados os consumos dos secadores e fornos, respectivamente, de acordo com a tecnologia de fabricação dos revestimentos cerâmicos.

O maior consumo dos secadores da Via Seca (Figura 5) pode estar associado à maior umidade utilizada para a prensagem desta tipologia

Tabela 1. Resultados do consumo térmico médio das fábricas que participaram do levantamento.

Rota de processamento	Empresa	Consumo específico (kcal.kg ⁻¹)
Seca	A	644,9
	B	613,8
	C	578,4
	D	677,6
	E	608,6
Úmida	F	901,5
	G	1047,0
	H	1140,0
	I	1190,0

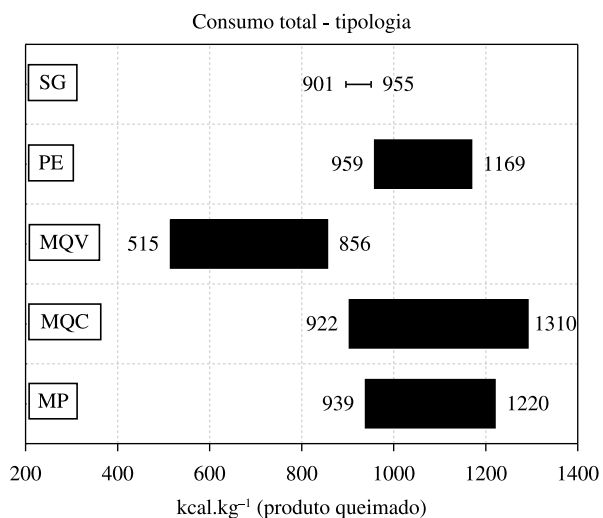


Figura 1. Consumo térmico específico por tipologia de produto.

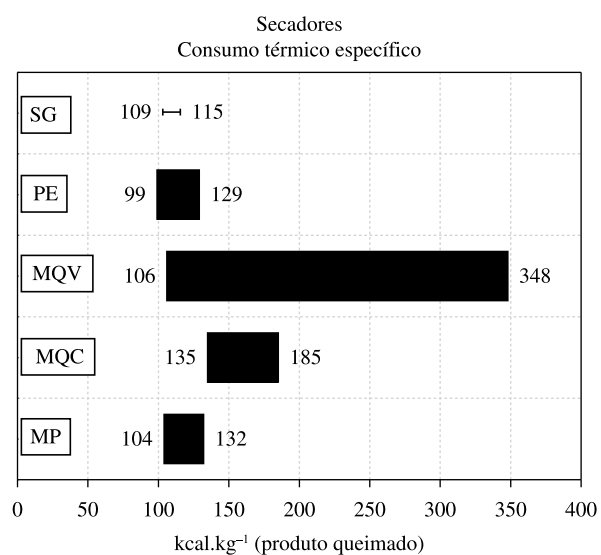


Figura 2. Consumo térmico específico dos secadores por tipologia de produto.

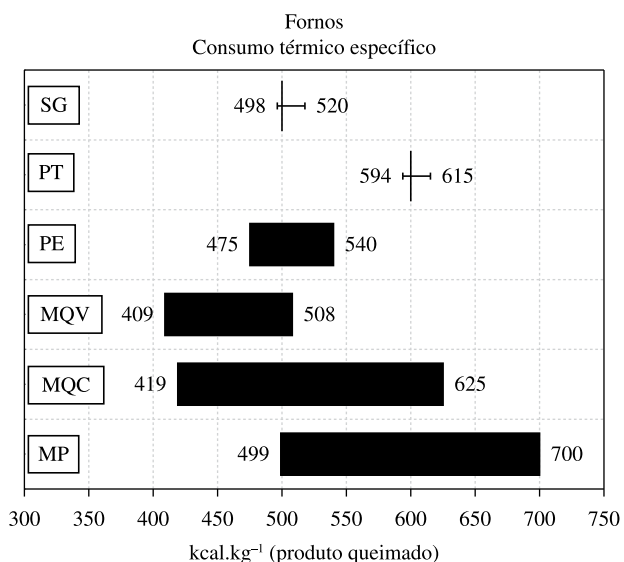


Figura 3. Consumo térmico específico dos fornos por tipologia de produto.

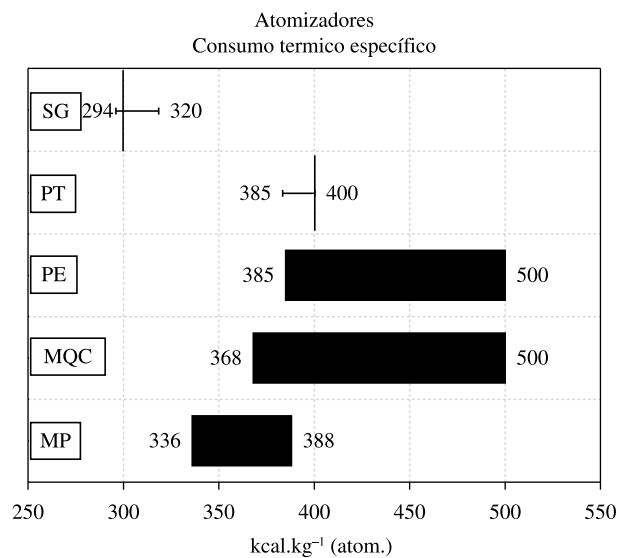


Figura 4. Consumo térmico específico dos atomizadores por tipologia de produto.

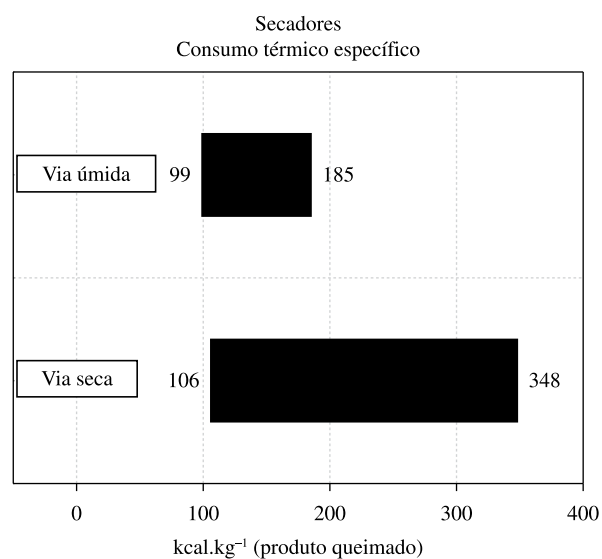


Figura 5. Consumo térmico específico dos secadores por rota de produção.

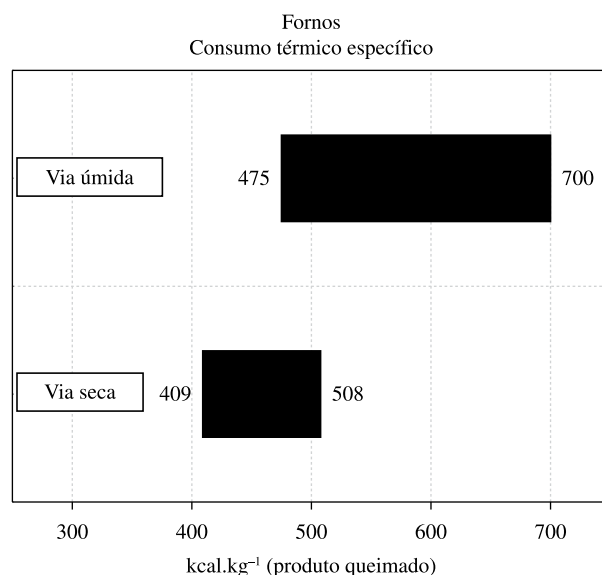


Figura 6. Consumo térmico específico dos fornos por rota de produção.

de produtos no Brasil e à manutenção de elevadas temperaturas que são utilizadas para a retirada rápida de água em ciclos curtos, garantindo uma elevada produtividade. As maiores discrepâncias foram observadas entre os consumos específicos dos secadores da Via Seca, sendo possível encontrar equipamentos que consumiam três vezes mais do que os mais econômicos avaliados.

Na Figura 6 pode-se notar que os fornos da Via Úmida apresentam consumo específico, em geral, maior do que os da Via Seca. Estes equipamentos por sua vez, como a maioria dos que operam na Via Úmida brasileira, são de uma geração mais antiga do que os encontrados na Via Seca, o que pode justificar este maior consumo. Além disso, os produtos produzidos por Via Úmida possuem ciclos térmicos mais longos do que a Via Seca e temperaturas máximas superiores. Em geral, as massas de Via Seca brasileiras são constituídas exclusivamente por argilas vermelhas de caráter altamente fundentes, que permitem a utilização de baixas temperaturas de queima e ciclos muito rápidos.

Conforme ilustram as Figuras 7, 8 e 9, existem diferenças significativas de consumo específico de acordo com o fabricante

dos secadores, fornos e atomizadores, respectivamente. Dentre os diferentes tipos de secadores da Via Seca avaliados, os do fabricante D apresentaram os maiores consumos específicos e as maiores discrepâncias. Na Via Úmida, os secadores do fabricante A possuem os maiores consumos. Considerando o consumo médio dos secadores, tanto da Via Seca quanto da Via Úmida, os mais econômicos são aqueles fabricados por C (Figura 7). Os fornos do fabricante C também se revelaram os mais econômicos nas duas vias. Os fornos que apresentaram maior consumo médio são dos fabricantes E (na Via Úmida) e B (na Via Seca) (Figura 8). No caso dos atomizadores, também aqueles fabricados pelo fabricante C possuem os menores consumos médios, enquanto que os maiores valores foram observados para os equipamentos do fabricante A, porém com maior discrepância (Figura 9). Tais resultados alertam para a importância da seleção do fabricante e do modelo dos fornos, secadores e atomizadores por parte das indústrias cerâmicas e podem orientar investimentos em futuras ampliações fabris.

Com base nas Figuras 10 e 11 nota-se que os secadores que consomem mais energia térmica são os horizontais com um único

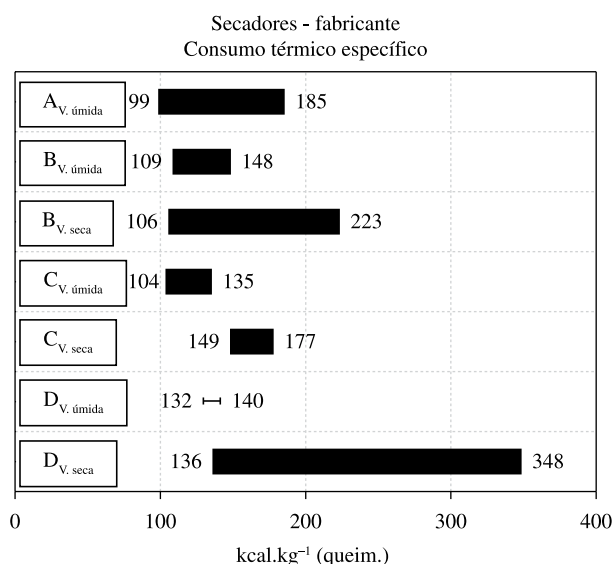


Figura 7. Consumo térmico específico dos secadores por fabricante.

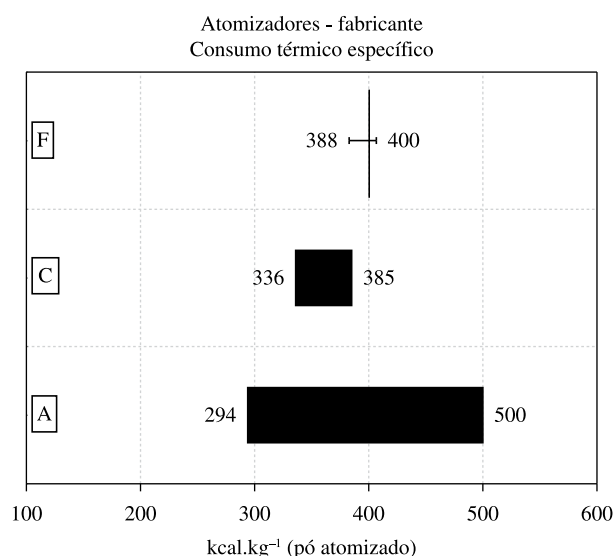


Figura 9. Consumo térmico específico dos atomizadores por fabricante.

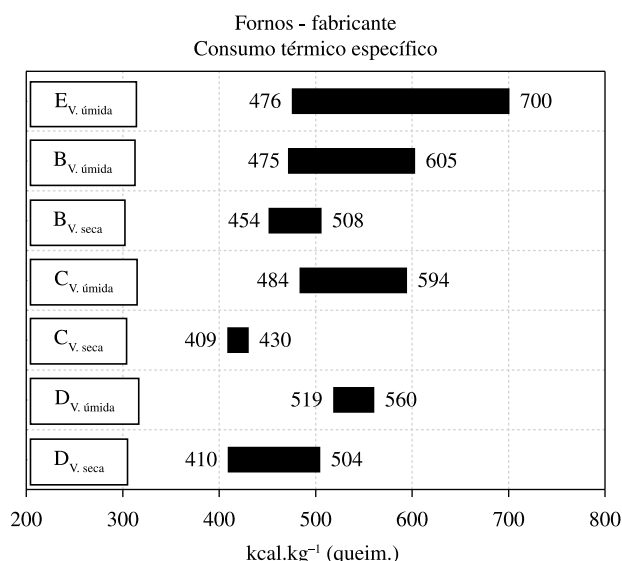


Figura 8. Consumo térmico específico dos fornos por fabricante.

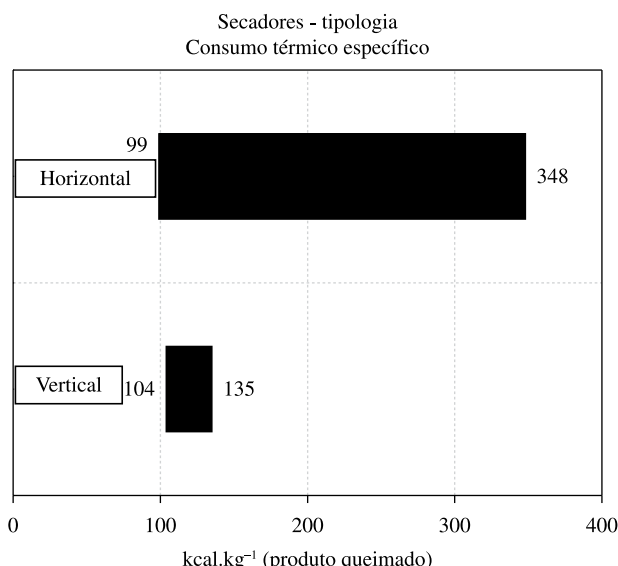


Figura 10. Consumo térmico específico dos secadores de acordo com a tecnologia de fabricação.

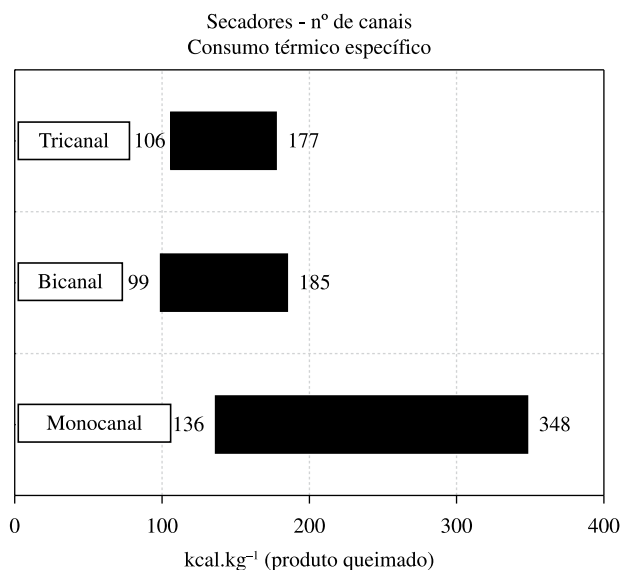


Figura 11. Consumo térmico específico dos secadores de acordo com o número de canais.

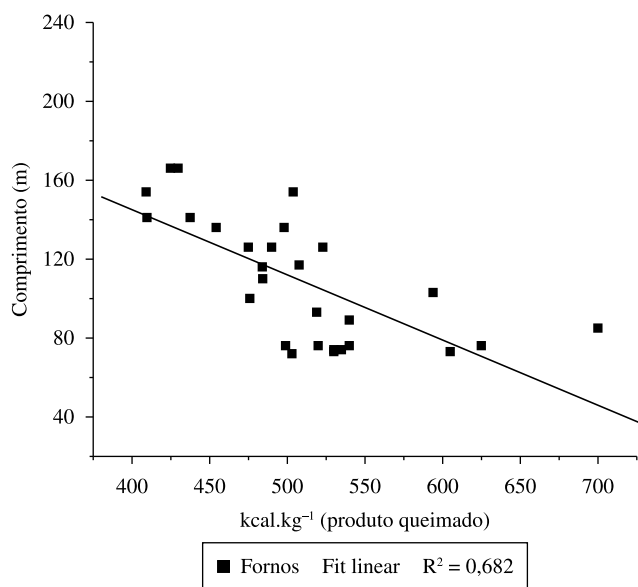


Figura 12. Relação entre o comprimento dos fornos e o consumo térmico específico.

canal (monocanal). Os secadores verticais utilizados nas fábricas brasileiras envolvidas no estudo são em média muito mais econômicos que os horizontais.

Algumas variáveis de queima foram avaliadas quanto à correlação apresentada com o consumo térmico específico dos fornos e atomizadores, como pode ser observado nas Figuras de 12 a 16. As variáveis dos fornos avaliadas foram: comprimento, ciclo térmico e temperatura máxima de queima. Os resultados apresentados na Figura 12 revelaram que o consumo específico dos fornos possui maior correlação com o comprimento dos mesmos (maior R^2), sendo que o aumento do tamanho dos fornos contribui para a redução do consumo. Deve-se ressaltar que, em geral, os fornos de maiores comprimentos são também os mais modernos utilizados no parque industrial envolvido no estudo. Conforme esperado, também há certa tendência ao aumento do consumo específico dos fornos com o

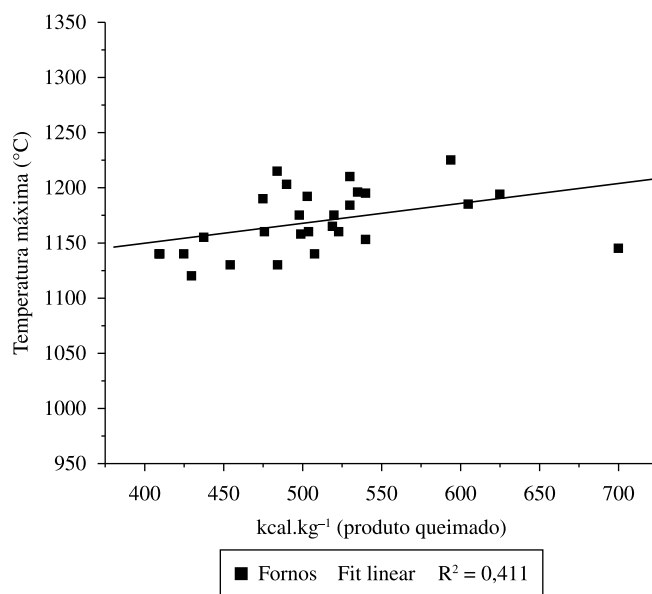


Figura 13. Relação entre a temperatura máxima dos fornos e o consumo térmico específico.

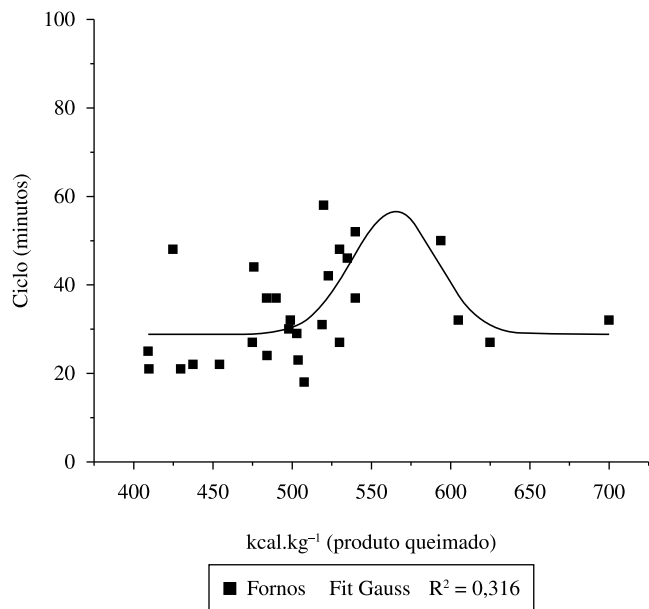


Figura 14. Relação entre o ciclo térmico dos fornos e o consumo térmico específico.

incremento da temperatura máxima de queima (Figura 13). Já o ciclo térmico apresentou a mais baixa correlação com o consumo específico dos fornos (menor R^2), conforme ilustra a Figura 14.

As variáveis dos atomizadores avaliadas foram: capacidade de evaporação de água e temperatura de operação. As Figuras 15 e 16 revelam que existe maior correlação entre o consumo térmico específico e a capacidade de evaporação de água, do que com a temperatura. Conforme ocorre a diminuição da taxa de evaporação de água (dada em L_{H_2O}/h), a produtividade dos atomizadores é menor, o que provoca o aumento do consumo térmico.

De acordo com a Figura 17 o consumo térmico da Via Seca é dividido em 71% na etapa de queima e 29% na etapa de secagem, o que revela que o consumo dos fornos é aproximadamente 2,4 vezes maior do que o consumo dos secadores. Já na Via Úmida (Figura 18) a etapa de atomização é responsável por 39% do consumo térmico

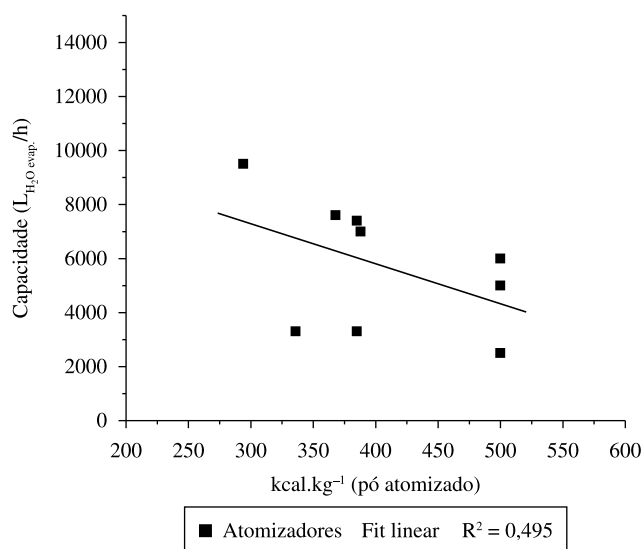


Figura 15. Relação entre a capacidade de evaporação de água dos atomizadores e o consumo térmico específico.

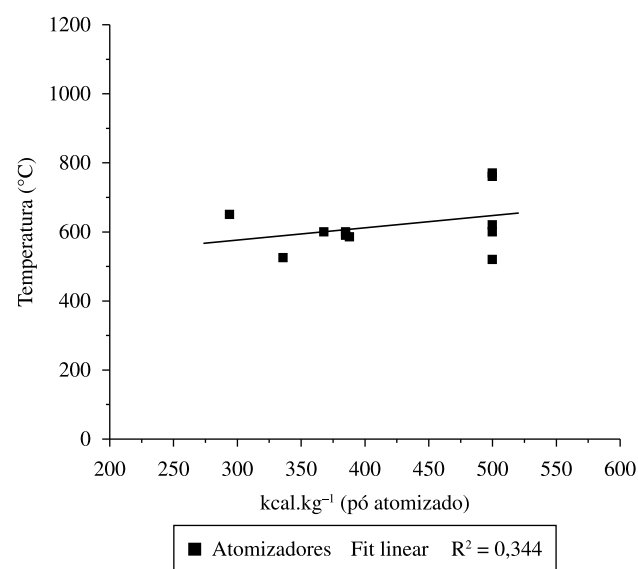


Figura 16. Relação entre a temperatura de operação dos atomizadores e o consumo térmico específico.

Tabela 2. Consumos de energia térmica da Via Seca e da Via Úmida.

	Estudo do setor brasileiro			
	Via Seca (kcal.kg ⁻¹ produto queimado*)		Via Úmida (kcal.kg ⁻¹ produto queimado*)	
	Intervalo	Valor médio	Intervalo	Valor médio
Atomização	-	-	294 – 500	424 ± 78
Secagem	106 – 348	182 ± 70	98 – 185	126 ± 24
Queima	409 – 508	451 ± 38	475 – 700	536 ± 57
Total	515 – 856	634 ± 109	868 – 1385	1085 ± 160

* Os valores foram obtidos com base no poder calorífico inferior (PCI) do gás natural.

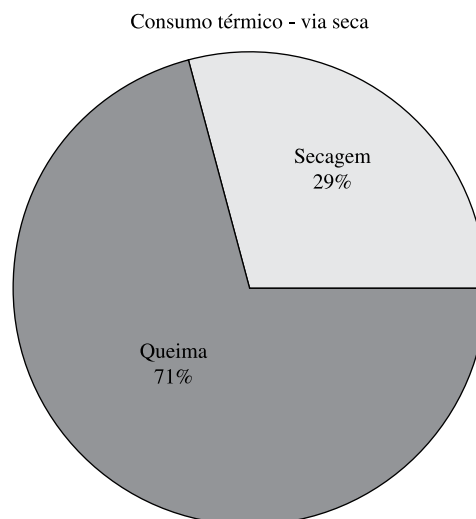


Figura 17. Distribuição do consumo térmico por etapa de processamento - via seca.

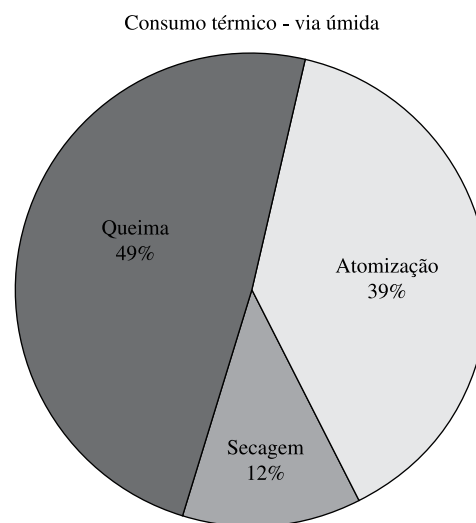


Figura 18. Distribuição do consumo térmico por etapa de processamento - via úmida.

total e os fornos possuem um consumo 4,1 vezes maior do que os secadores.

A Tabela 2 apresenta os valores de consumo médio de energia térmica nas etapas de secagem, queima e atomização, obtidos neste trabalho. Os resultados da Tabela 2 evidenciam que o consumo térmico no processo por Via Úmida em média é muito maior que o apresentado pela Via Seca (cerca de 70%). Isso se deve principalmente ao incremento do consumo oferecido pela etapa de atomização na Via Úmida. Entretanto, o elevado consumo dos fornos na Via Úmida contribui também para esta grande diferença entre as vias de processamento.

Uma vez que o consumo específico está relacionado diretamente ao consumo de GN, é possível afirmar que, dadas as particularidades das indústrias brasileiras envolvidas no estudo, os gastos com energia térmica na Via Seca são muito menores do que na Via Úmida.

4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos merecem destaque as seguintes considerações:

- Existem muitas discrepâncias entre o consumo térmico de fábricas que utilizam a mesma rota de processamento e que produzem a mesma tipologia de produto, o que está relacionado aos distintos tipos de equipamentos (tecnologia, dimensões e fabricante) e às variadas condições de operação dos mesmos. Neste sentido, há uma margem significativa para a redução do consumo térmico no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos;
- O consumo térmico da Via Úmida é cerca de 70% maior do que o da Via Seca, devido ao incremento da etapa de atomização e ao elevado consumo dos fornos. Embora a Via Seca tenha um maior consumo dos secadores, possui fornos que apresentam menor consumo médio quando comparados aos da Via Úmida. Estes resultados devem ser analisados, levando-se em conta as peculiaridades da Via Seca brasileira, que atualmente conta com equipamentos de última geração e faz uso de argilas bastante particulares no que diz respeito ao comportamento durante a queima;
- Na Via Úmida o consumo total de energia térmica é distribuído em 49% na Queima, 39% na Atomização e 12% na Secagem. Já na Via Seca o consumo é de 71% na Queima e 29% na Secagem. A relação entre o consumo dos Fornos e dos Secadores é diferenciada de acordo com a via de processamento. O consumo dos Fornos na Via Úmida é 4,1 vezes maior do que o apresentado pelos Secadores, enquanto que na Via Seca este número é igual a 2,4;
- Dentre as variáveis avaliadas, a que mais afeta o consumo térmico específico dos fornos é o seu comprimento. Quanto maior o comprimento dos fornos menor o consumo específico. Em relação aos atomizadores, quanto maior a capacidade de evaporação de água por hora, menor será o consumo. No caso dos secadores, os que apresentaram menor consumo foram os verticais. Também foi possível observar que dentre os secadores horizontais, aqueles que possuíam dois ou três canais (bicanal e tricanal) foram os mais econômicos;

- Das tipologias de revestimentos cerâmicos avaliadas a MQC (monoqueima clara) apresentou o maior consumo térmico e a MQV (monoqueima vermelha) o menor. Dentre as tipologias produzidas por Via Úmida, a SG (semi-grês) apresentou o menor consumo. Deve-se considerar que equipamentos de gerações distintas foram monitorados neste estudo e que tais resultados, embora reflitam a realidade do parque industrial brasileiro, podem ser significativamente diferentes em função das características das massas e dos equipamentos utilizados para a fabricação dos mesmos produtos.

Em geral, os resultados deste trabalho evidenciam que o uso do gás natural pelas indústrias de revestimentos cerâmicos brasileiras pode ser mais eficiente. As informações obtidas pelo gerenciamento energético podem contribuir significativamente para a tomada de decisões estratégicas por parte das empresas, refletindo no aumento da eficiência energética e consequentemente na redução dos gastos com energia.

Referências

1. ENRIQUE, J. E. et al. Evolución de los consumos de energía térmica y eléctrica en el sector de baldosas cerámicas. **Técnica Cerámica**, n. 246, 2006.
2. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA DE REVESTIMENTO – ANFACER. Disponível em: <www.anfacer.org.br>. Acesso em: 27 maio 2010.
3. NASSETTI, G. et al. **Piastrelle Ceramiche & Energia**, n. 20, p. 109-113, 1998.
4. CRASTA, G. P. Costi e ricavi dell'industria ceramica italiana. **Ceramic World**, v. 16, n. 65, p. 46-50, 2006.
5. MONFORT, E. et al. Análisis de consumos energéticos y emisiones de dióxido de carbono en la fabricación de baldosas cerámicas. In: CONGRESO MUNDIAL DE LA CALIDAD DEL AZULEJO Y DEL PAVIMENTO CERÁMICO – QUALICER, 10., 2010, Castellón, España. **Anais...**
6. ALVES, H. J.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Levantamento inicial do consumo de energias térmica e elétrica na indústria brasileira de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 12, n. 1/2, p. 17-21, 2007.
7. ALVES, H. J.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Consumo de gás natural na indústria de revestimentos cerâmicos brasileira. **Cerâmica**, v. 54, p. 326-331, 2008.