

## Gres porcelánico esmaltado producido por vía seca: materias primas fundentes

F. G. MELCHIADES, L. R. DOS SANTOS, S. NASTRI Y A. O. BOSCHI\*

Laboratório de Revestimentos Cerâmicos (LaRC)  
Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa)  
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) Rod. Washington Luiz, Km. 235, 13574-970 São Carlos, SP, Brasil - daob@ufscar.br

**Este trabajo ha sido presentado como comunicación oral, tras su evaluación por el Comité Científico, en el XII Foro Global del Recubrimiento Cerámico. QUALICER (13 y 14 febrero 2012. Castellón. España).**

Los agentes fundentes tienen una especial importancia en las composiciones de gres porcelánico, ya que este tipo de baldosa cerámica requiere altos volúmenes de fases vítreas durante el proceso de cocción para eliminar la porosidad abierta. El volumen y la viscosidad de las fases vítreas que se forman durante la cocción controlan el proceso de densificación y, por consiguiente, determinan la temperatura de cocción y la deformación pirolástica.

Los agentes fundentes que se usan habitualmente en las composiciones de gres porcelánico son: feldespatos, filitas (usadas en Brasil) y nefelinas. Estas materias primas no son solubles al agua, lo que las hace particularmente adecuadas para las composiciones de gres porcelánico tradicional producido por vía húmeda. Sin embargo, existe un gran grupo de materias primas solubles que también tienen un gran potencial como fundentes y que podrían utilizarse en los procesos de vía seca. En este contexto, el objetivo de este trabajo ha sido determinar el potencial fundente de las materias primas solubles al agua, o parcialmente solubles al agua, en una composición de gres porcelánico. La efectividad de varios boratos, es decir, la colemanita, la ulexita, la hidroboracita, así como el carbonato sódico, fueron ensayados en un estudio de tipo comparativo. Los resultados de este estudio indican que la incorporación de pequeñas cantidades de estos fundentes es suficiente para reducir la temperatura de cocción de forma importante, sin causar una alta deformación pirolástica de los soportes. Los mejores resultados se obtuvieron con las composiciones que contenían hidroboracita.

Este resultado es especialmente relevante para la creación de composiciones alternativas de piezas de gres porcelánico producidas por vía seca. El proceso de vía seca es, en la actualidad, un tema de especial interés, debido a las cuestiones medioambientales y económicas.

*Palabras clave: piezas de gres porcelánico, agente fundente, boratos, vía seca, vitrificación.*

### Glazed porcelain tiles produced by the dry route: fluxing raw

Fluxing agents are particularly important in porcelain tile compositions because this type of ceramic tile requires high volumes of vitreous phases during firing to eliminate open porosity. The volume and viscosity of the vitreous phases formed during firing control the densification process and thus determine the firing temperature and pyroplastic deformation.

The fluxing agents commonly employed in porcelain tile compositions are feldspars, phyllites (used in Brazil) and nephelines. These raw materials are water-insoluble, which makes them particularly suitable for compositions of traditional porcelain tile produced by the wet route. However, a large group of water-soluble raw materials also have a good potential to act as fluxing agents and could be used in dry route processes.

In this context, the purpose of this work was to determine the fluxing potential of water-soluble or partially water-soluble raw materials in a porcelain tile composition. The effectiveness of several borates, i.e., colemanite, ulexite, hydroboracite, as well as sodium carbonate, was tested in a comparative study.

The results of this study indicate that small additions of these fluxing agents suffice to greatly reduce the firing temperature without causing high pyroplastic deformation of the bodies. The best results were obtained in compositions containing hydroboracite.

This finding is especially relevant for the creation of alternative compositions of porcelain tiles produced by the dry route. Dry route processing is currently the focus of a great deal of interest due to environmental and economic issues.

*Key words: porcelain tiles, fluxing, borates, dry route, vitrification.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy por hoy, un requisito esencial para la viabilidad económica de los soportes cerámicos preparados por vía húmeda es la formación de suspensiones acuosas de baja viscosidad y altas concentraciones de sólidos [1]. La baja viscosidad de estas suspensiones desempeña un papel importante a la hora de asegurar la descarga adecuada desde los molinos, el transporte a las balsas de almacenamiento y la consiguiente fase de atomización. En este contexto, los desfloculantes deben actuar como agentes que promueven la dispersión de las partículas en las suspensiones [2], permitiendo la obtención de suspensiones de baja viscosidad con bajas proporciones de agua y, por tanto, reduciendo los costes energéticos de la evaporación de agua en la fase de atomización de estas suspensiones.

Teniendo en cuenta los requisitos para las suspensiones preparadas a partir de la pasta de arcilla procesada por vía húmeda, resulta esencial que estas composiciones muestren comportamientos reológicos que sean compatibles con los requisitos antes mencionados. En este contexto, existen varias arcillas con un alto contenido plástico que normalmente sólo tienen un uso limitado en las composiciones de soportes cerámicos destinadas a este proceso [3], ya que se sabe que algunos minerales no forman con facilidad suspensiones estables con altas concentraciones de sólidos y bajos niveles de viscosidad. Además, las materias primas utilizadas en la formulación de los soportes cerámicos para el proceso de vía húmeda se limitan a aquellas que consisten de minerales que son insolubles al agua a temperatura ambiente, ya que su disolución – aunque parcial – puede afectar el equilibrio de las cargas superficiales de las partículas e incidir negativamente en las propiedades reológicas de las suspensiones [4].

En estos últimos años, se han realizado varios estudios [5] con vistas a evaluar la viabilidad de fabricar piezas de gres porcelánico por vía seca. El proceso por vía seca, que implica menores volúmenes de agua y consumo de energía, puede considerarse como una alternativa importante para la producción de piezas de gres porcelánico a corto plazo, especialmente si tenemos en cuenta los protocolos medioambientales que se han adoptado en los últimos años.

En la fabricación de gres porcelánico por vía seca, el comportamiento reológico ya no es un requisito fundamental para la formulación del soporte cerámico empleado, ya que su preparación no incluye la formación de suspensiones. Esta diferencia puede permitir el uso de arcillas muy plásticas y de minerales que son algo solubles al agua en composiciones de

soportes cerámicos destinados específicamente para esta vía de fabricación. Teniendo en cuenta esta posibilidad, el objetivo de este estudio ha sido la evaluación del uso potencial de algunas materias primas fundentes en las composiciones de gres porcelánico destinadas al proceso de vía húmeda, teniendo en cuenta las limitaciones impuestas por sus comportamientos reológicos.

Los agentes fundentes [7] desempeñan un papel fundamental en las pastas de arcilla porcelánicas, debido a la necesidad de obtener bajos niveles de porosidad en el producto acabado. La baja porosidad se logra mediante la formación de altos volúmenes de fase líquida durante la cocción, que son el resultado de la fusión progresiva de los minerales fundentes usados en la composición del soporte cerámico. Por tanto, los agentes fundentes, que son determinantes a la hora de definir la temperatura de cocción del producto y son responsables de la deformación pirolástica [8] que sufre el soporte cerámico durante la cocción, afectan en gran medida las características microestructurales de las piezas de gres porcelánico resultantes.

Los agentes fundentes utilizados tradicionalmente en las baldosas cerámicas preparadas por vía húmeda son los feldespatos [9]. Las filitas [10] (los agentes fundentes utilizados habitualmente en Brasil) y las nefelinas pueden utilizarse también en las piezas de gres porcelánico en lugar de los feldespatos. Los boratos, a su vez, pueden ser alternativas interesantes a emplear en las piezas de gres porcelánico, ya que el  $B_2O_3$  permite la formación de fases vítreas con viscosidad reducida a baja temperatura. A pesar de iniciativas [11] que se han centrado en su uso en los soportes cerámicos destinados al proceso de vía húmeda, el uso de los boratos en las formulaciones de estos soportes debería limitarse, teniendo en cuenta su solubilidad parcial en agua.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este estudio, se han recogido muestras de las materias primas de una pasta industrial utilizada para la fabricación de piezas de gres porcelánico esmaltado por vía húmeda. Las materias primas se usaron en las proporciones de la formulación de la pasta para crear una composición denominada "Soporte porcelánico AT". Esta pasta se caracterizó primero de forma química y mineralógica por análisis de fluorescencia de rayos X y difracción de rayos X.

TABLA I – COMPOSICIONES DE LOS SOPORTES ENSAYADOS

Materias primas	STD	B	H	U	C
Soporte porcelánico AT	100.0	97.5	97.5	97.5	97.5
Carbonato sódico (%)	-	2.5	-	-	-
Hidroboracita (%)	-	-	2.5	-	-
Ulexita (%)	-	-	-	2.5	-
Colemanita (%)	-	-	-	-	2.5

También se recogieron muestras de los agentes fundentes ensayados en este estudio, a saber: carbonato sódico, hidroboracita, ulexita, y colemanita. Estas materias primas se seleccionaron debido a su potencial para actuar como agentes fundentes durante el proceso de cocción, tal y como indican los elementos químicos que conforman sus composiciones –  $B_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$  y  $MgO$ . Los boratos seleccionados ofrecen ventajas económicas con respecto al ácido bórico y a los boratos sódicos hidratados. Sus composiciones químicas se determinaron, inicialmente, por medio de fluorescencia de rayos X para confirmar los elementos químicos que contenían y sus proporciones.

Para evaluar el potencial de estas materias primas como agentes fundentes, éstas se aditivaron en cantidades fijas al soporte porcelánico seleccionado para esta fase del estudio. La tabla I presenta las composiciones de los soportes ensayados.

Todos los soportes se molturaron en seco en un molino de martillos a escala de laboratorio, y a continuación se molturaron en seco en un mortero y en un molino de bolas de laboratorio. La molturación se realizó hasta que los soportes pasaron por completo a través de un tamiz #230 de ABNT (apertura de malla de 63  $\mu m$ ). Tras la molienda, todos los soportes fueron granulados en tamices de laboratorio con la incorporación de un 6.5% de humedad, obligando el paso de los aglomerados resultantes a través de tamices con aperturas de 1.0 mm de diámetro. Los soportes granulados se dejaron en reposo durante 24 horas para homogeneizar la humedad incorporada, tras lo cual fueron compactados para obtener las probetas.

Las probetas, con unas dimensiones de 60x20x6 mm aproximadamente, fueron conformadas de forma unidireccional en una prensa hidráulica de laboratorio bajo una presión de compactación fija de 380  $kgf/cm^2$ . Las probetas resultantes se caracterizaron en base a los siguientes análisis: densidad aparente en seco, resistencia a la flexión o módulo de rotura en seco, contracción lineal de secado, curvas de

gresificación tras la cocción a cuatro temperaturas distintas en ciclos de una duración total de 45 minutos y con un tiempo de permanencia de 5 minutos a la temperatura máxima de cocción, módulo de rotura en cocido, espectrofotometría de reflectancia de las coordenadas cromáticas, índices de piroplasticidad y coeficientes de dilatación térmica lineal.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla II describe las composiciones químicas de los soportes porcelánicos y de las materias primas fundentes seleccionadas para este estudio. La tabla III muestra la composición mineralógica del soporte porcelánico AT estimado a partir de los resultados de los análisis mineralógicos y químicos.

Los resultados indican que la composición química del soporte AT es típica de los soportes porcelánicos esmaltados que se usan en Brasil en la actualidad, que presentan contenidos de  $Fe_2O_3$  y  $TiO_2$  relativamente menores que las baldosas cerámicas de cocción roja. Como puede observarse, los óxidos de los elementos alcalinos ( $Na_2O$  y  $K_2O$ ) presentan contenidos en peso muy similares. Un análisis racional señala contenidos similares de albita y mica moscovita, los cuales son los minerales que contienen los óxidos antes mencionados. El alto contenido de la mica moscovita se puede atribuir, probablemente, al uso de la filita [10] que se ha empleado de forma extendida como materia prima fundente en las piezas de gres porcelánico esmaltado en Brasil, como alternativa para reducir el contenido de los feldespatos, que son menos abundantes en el sur del país.

Además de la presencia de la caolinita y el cuarzo, el análisis racional también indica la existencia de agentes fundentes auxiliares en el soporte, representados por la presencia de talco y dolomita en contenidos estimados inferiores al 3.0%.

TABLA II – COMPOSICIONES QUÍMICAS DEL SOPORTE PORCELÁNICO AT Y DE LAS MATERIAS PRIMAS FUNDENTES.

Óxidos	Soporte porcelánico AT	Carbonato sódico	Hidroboracita	Ulexita	Colemanita
P.p.c. (%)	5.59	40.52	26.61	6.57	25.68
$SiO_2$ (%)	68.02	0.01	5.98	7.22	9.69
$Al_2O_3$ (%)	17.72	-	1.04	1.43	2.18
$Fe_2O_3$ (%)	1.24	0.03	0.68	0.67	0.76
$TiO_2$ (%)	0.42	-	0.12	0.23	0.14
$CaO$ (%)	1.05	-	14.18	12.07	22.11
$MgO$ (%)	1.50	-	9.46	0.70	2.11
$Na_2O$ (%)	2.20	58.23	-	16.80	0.40
$K_2O$ (%)	2.02	0.01	0.27	0.46	0.53
$MnO$ (%)	-	-	-	-	0.01
$P_2O_5$ (%)	0.02	-	-	0.05	0.07
$B_2O_3$ (%)	-	-	41.59	53.52	35.97

TABLA III – COMPOSICIÓN MINERALÓGICA ESTIMADA DEL SOPORTE PORCELÁNICO AT

Minerales	SopORTE AT
Caolinita (%)	19.0
Cuarzo (%)	37.1
Albita (%)	18.6
Mica moscovita (%)	17.1
Dolomita (%)	3.5
Talco (%)	2.4
Otros (%)	2.3

El análisis químico de los agentes fundentes indica que las materias primas seleccionadas muestran una gran pureza, ya que sus composiciones químicas son muy similares a sus fórmulas químicas. Cabe señalar que la pureza del carbonato sódico es mayor que la de los boratos, que suelen estar contaminados con un 5–10% de  $\text{SiO}_2$ . Otro aspecto a tener en cuenta es la presencia de elementos cromóforos ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$ ) en los boratos, que pueden afectar el color en la cocción de los soportes, aunque los contenidos de estos elementos entran, completamente, dentro de los límites aceptables para los soportes porcelánicos esmaltados.

La tabla IV detalla las características de los soportes antes de la cocción. Ninguno de los soportes, con la excepción del que contiene carbonato sódico (soporte B), presenta modificaciones significativas en su densidad aparente y módulo de rotura después del secado en comparación con el soporte STD. El soporte que contiene carbonato sódico mostró una densidad aparente y un módulo de rotura significativamente superiores a aquellos de los otros soportes. Este resultado tiene que ver con el efecto ligante del carbonato sódico en los soportes cerámicos. Según la bibliografía [12], este tipo de ligante forma puentes sólidos entre las partículas a través de la cristalización y puede facilitar incrementos de hasta el 50% en la resistencia mecánica de los soportes cerámicos crudos cuando se incorporan en una proporción del 0.5% al soporte cerámico.

En lo que se refiere a la contracción de secado, los boratos incorporados llevaron a pequeños incrementos de la magnitud de la contracción de los soportes en comparación con el soporte STD. La presencia de carbonato sódico en el soporte

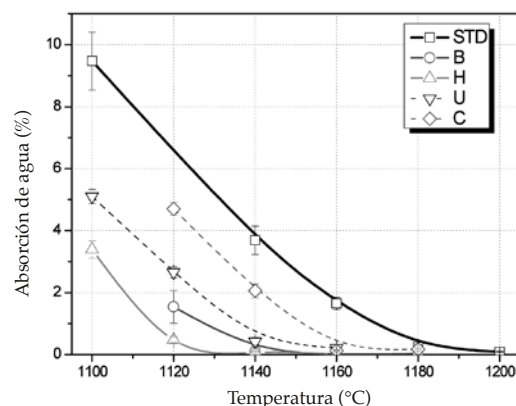


Figura 1 – Efectos de la temperatura de cocción en la absorción de agua de los soportes STD, B, H, U y C.

B incrementó de forma significativa la contracción en cocido del soporte, lo cual ha sido atribuido a la solubilización de esta materia prima en el agua utilizada en la fase de granulación.

El comportamiento de los soportes durante la cocción puede evaluarse sobre la base de los diagramas de gresificación presentados en las figuras 1 y 2, que indican los efectos de la temperatura de cocción en la contracción lineal y absorción de agua de los soportes.

Los diagramas de gresificación indican que todos los agentes fundentes ensayados fueron efectivos a la hora de reducir la temperatura de cocción del soporte STD, ya que los soportes a los se incorporaron alcanzaron sus temperaturas de densificación máxima después de la cocción a temperaturas significativamente inferiores que las del soporte STD. Estos resultados son muy interesantes, ya que el incremento de la fundencia del soporte puede permitir el uso de temperaturas de cocción inferiores y/o ciclos de cocción más rápidos en la fabricación de baldosas por vía seca.

Cabe destacar los resultados obtenidos con el soporte H – que contiene hidroboracita como agente fundente. Este soporte presentó una densificación máxima después de la cocción a 1140°C, lo que representa una reducción de 40°C de la temperatura de cocción requerida para alcanzar la densificación máxima del soporte STD. El soporte que contiene ulexita como agente fundente también presentó una fundencia muy elevada, probablemente debido a la presencia combinada de sodio y boro. El mayor efecto de fundencia

TABLA IV – CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS DE LOS SOPORTES ANTES DE LA COCCIÓN.

Soportes	Densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Módulo de rotura (MPa)	Contracción por secado (%)
STD	$1.94 \pm 0.02$	$2.8 \pm 0.2$	$0.11 \pm 0.01$
B	$2.01 \pm 0.02$	$6.6 \pm 0.7$	$0.22 \pm 0.01$
H	$1.93 \pm 0.03$	$3.3 \pm 0.6$	$0.15 \pm 0.02$
U	$1.93 \pm 0.02$	$2.9 \pm 0.3$	$0.14 \pm 0.02$
C	$1.96 \pm 0.02$	$3.0 \pm 0.3$	$0.14 \pm 0.01$

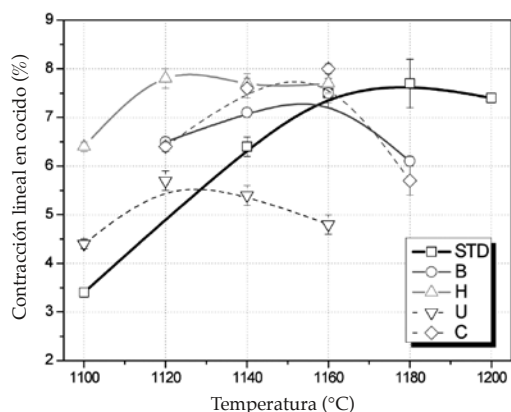


Figura 2 – Efectos de la temperatura de cocción en la contracción lineal en cocido de los soportes STD, B, H, U y C

de la hidroboracita que aquel de los otros boratos se debe, probablemente, a la mayor participación efectiva del boro en esta materia prima y a su contenido más bajo de  $\text{SiO}_2$ , considerando las proporciones de los elementos durante la cocción (sin pérdida por calcinación).

En el caso de las probetas que contenían carbonato sódico, se observó la formación de una capa delgada vitrificada en su superficie. Este fenómeno se debe, probablemente, a la completa solubilización del carbonato sódico en el agua de granulación. Durante el secado de las probetas, el carbonato sódico se transporta con el agua hacia la superficie de los soportes y, después de la evaporación del agua, el carbonato se cristaliza en la superficie. Este fenómeno hace que el uso del carbonato sódico como agente fundente en este tipo de soporte sea prácticamente inviable, al menos en la proporción ensayada, ya que conduce a una heterogeneidad significativa de los soportes cocidos.

Además de reducir la temperatura de densificación máxima de los soportes, el análisis de las curvas de gresificación indica que los intervalos de cocción de los soportes que contenían los agentes fundentes ensayados fueron más cortos que los del soporte STD. Este resultado se verificó por medio de las formas de las curvas de contracción lineal en función de la temperatura de cocción, los cuales revelan cambios dimensionales mayores en los soportes que contenían los

agentes fundentes ensayados en respuesta a los cambios menores de la temperatura a aproximadamente la temperatura de densificación máxima de los soportes.

Cabe señalar que se han presentado resultados similares en trabajos anteriores en la bibliografía especializada [11], en los cuales se llevaron a cabo estudios de la misma naturaleza sobre un soporte porcelánico fabricado por vía húmeda. No obstante, los boratos deben usarse de forma cautelosa con los soportes destinados a este tipo de proceso, ya que las propiedades reológicas de las suspensiones quedan directamente afectadas por su presencia, empezando ya a contenidos aditivados muy bajos.

La tabla V presenta las temperaturas de densificación máxima de los soportes, así como sus propiedades (módulo de rotura, índice de piroplasticidad, coeficiente de dilatación térmica, y las coordenadas cromáticas que indican el color en la cocción), después de la cocción a estas temperaturas.

Los resultados muestran la existencia de diferencias significativas en el módulo de rotura de los soportes cocidos a sus respectivas temperaturas de densificación máxima. Con la excepción del soporte B, todos los soportes que contenían agentes fundentes aditivados presentaron módulos de rotura más bajos que el soporte STD. Estos resultados se deben, probablemente, a la densificación heterogénea de las composiciones, las cuales presentaron un ligero incremento en las temperaturas de cocción requeridas para obtener un nivel de absorción de agua cero. En el caso del soporte que contenía hidroboracita, se encontró que el valor de la resistencia mecánica, evaluado a partir de su módulo de rotura, fue incluso ligeramente superior a aquel del soporte STD.

En cuanto a los resultados de los índices de piroplasticidad, se observó que, en general, la incorporación de agentes fundentes enérgicos tiende a incrementar la susceptibilidad a la deformación del soporte STD. Esto se debe a la disminución de la viscosidad en las fases vítreas que se forman, las cuales muestran una mayor fluencia a altas temperaturas, favoreciendo de este modo la deformación de las probetas. La presencia de boro, en combinación con los elementos alcalinos y alcalinotérreos aportados por los agentes fundentes utilizados, son los responsables de este fenómeno en los soportes en cuestión, a la vista de los conocidos efectos de estos elementos en la viscosidad de los vidrios [13].

Con respecto al coeficiente de dilatación térmica, los efectos de la incorporación de los boratos bajo estudio en el

TABLA V – CARACTERÍSTICAS DE LOS SOPORTES STD, B, H, U Y C DESPUÉS DE LA COCCIÓN A SUS RESPECTIVAS TEMPERATURAS DE DENSIFICACIÓN MÁXIMA

Soportes	STD	B	H	U	C	
Temp. de densificación máx. (°C)	1180	1160	1140	1140	1160	
Módulo de rotura (MPa)	$64.7 \pm 1.7$	$32.7 \pm 3.0$	$72.6 \pm 1.9$	$42.7 \pm 0.7$	$51.2 \pm 2.3$	
Índice de piroplasticidad ( $\text{cm}^{-1}$ )	$7.8 \times 10^{-5}$	$13.0 \times 10^{-5}$	$8.3 \times 10^{-5}$	$8.7 \times 10^{-5}$	$9.8 \times 10^{-5}$	
$\alpha_{25-325}$ ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	$68.4 \times 10^{-7}$	$77.8 \times 10^{-7}$	$66.8 \times 10^{-7}$	$66.2 \times 10^{-7}$	$66.9 \times 10^{-7}$	
Coordenadas cromáticas	L*	60.7	58.7	62.6	64.1	62.3
	a*	2.1	3.8	3.6	4.2	2.6
	b*	12.2	15.8	12.7	14.1	11.9

soporte STD fueron solo menores, y causaron únicamente unas pequeñas reducciones, debido probablemente a la reducción de la dilatación térmica de las fases vítreas formadas en respuesta a la presencia del boro. En el caso del soporte que contenía carbonato sódico, la presencia de una alta concentración de sodio en las fases vítreas que se formaron fue responsable, sin duda alguna, del incremento del coeficiente de dilatación térmica del producto. La bibliografía describe el sodio como un modificador de red que presenta efectos notables en las propiedades de los vidrios debido a su radio atómico [13].

Por último, el análisis del color en la cocción de las muestras indica que los soportes que contenían los agentes fundentes objeto de estudio presentaron, por regla general, unos colores ligeramente más blancos, amarillentos y rojizos. Esto se debe al uso de temperaturas de cocción más bajas para obtener la densificación máxima de los soportes, y concuerda con los efectos de la temperatura de cocción en las coordenadas cromáticas de los soportes cerámicos descritos en la bibliografía [1].

En su conjunto, los resultados apuntan a ventajas considerables en el uso de la hidroboracita como agente fundente en los soportes porcelánicos producidos por vía seca. La hidroboracita apenas genera modificaciones en el comportamiento del soporte antes de la cocción y acelera la densificación del producto de forma significativa durante la cocción, permitiendo unas temperaturas de cocción sustancialmente más bajas. Por otra parte, hace que el soporte sea solo ligeramente más susceptible a la deformación pirolástica, sin afectar a las otras propiedades del producto acabado.

Como se ha mencionado anteriormente, este agente fundente puede utilizarse en los soportes preparados por vía seca sin las restricciones impuestas por el comportamiento reológico de las suspensiones, como es el caso de los soportes preparados por vía húmeda. La dosificación de este borato en las formulaciones de los soportes porcelánicos destinados a los procesos por vía seca debe elegirse teniendo en cuenta su energético efecto fundente, con precauciones en términos de la proporción aditivada con respecto sólo a la reducción del intervalo de cocción y al incremento de la deformación pirolástica que puede aportar a los soportes.

## CONCLUSIONES

Sobre la base de los resultados generales obtenidos, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El uso del proceso de vía seca para la fabricación de piezas de gres porcelánico esmaltado puede permitir la incorporación de una serie de materias primas que no se utilizan en la actualidad en los soportes atomizados para el desarrollo de las formulaciones de gres porcelánico.
- Los boratos pueden utilizarse con éxito en la fabricación de baldosas de gres porcelánico por vía seca, ya que actúan como agentes fundentes energéticos durante la cocción, permitiendo temperaturas de cocción significativamente inferiores incluso cuando se incorporan en cantidades pequeñas.
- En general, la presencia de boratos en las pastas de gres porcelánico esmaltado estudiados en este trabajo tuvieron solo un efecto menor en las propiedades de los soportes crudos. Durante la cocción, además de reducir la temperatura de cocción, pueden acortar el intervalo de cocción y aumentar la tendencia de deformación pirolástica de los soportes.
- El uso del carbonato sódico en las proporciones ensayadas en este estudio no se recomienda, ya que presenta una alta solubilidad en el agua utilizada para la granulación del soporte, dando como resultado soportes heterogéneos.
- Los mejores resultados se obtuvieron con la adición de la hidroboracita en los soportes porcelánicos estudiados, debido a su comportamiento fundente y a la mayor homogeneidad de los soportes resultantes.
- Considerando las limitaciones de la mezcla en los procesos de vía seca, un aspecto importante a tener en cuenta es la homogeneidad de estos agentes fundentes en los soportes porcelánicos, ya que su heterogeneidad puede impedir el uso de estas materias primas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo financiero de la FAPESP (Fundación de Investigación de São Paulo) mediante el Proceso n° 08/58972-0.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] BARBA *et al.* **Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas**. Instituto de Tecnología Cerámica – AICE, 1ª Edición, Castellón, España, 1997, 291 p.
- [2] BOHLMANN, C.; LUCK, C.; KUIRMBACH, P. Mecanismos de ação de produtos desfloculantes e dispersantes em pastas cerâmicas. **Kerâmica**, v.241, p. 78-92, 2000.
- [3] PRADO, A.C.A. *et al.* Propriedades reológicas de matérias-primas do Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes provenientes da Formação Corumbataí (região de Rio Claro, SP). **R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 60(4): 613-620, 2007.
- [4] SMILES, D.E. Effects of solutes on clay-water interactions: some comments. **Applied Clay Science**, v.42, p.155-162, 2008.
- [5] MELCHIADES, F.G.; BOSCHI, A.O. Study of the feasibility of producing porcelain tiles by the dry route. **Ceramic Forum International**, v.87, n.1-2, p. 43-49, 2010.
- [6] SAMPAIO, V.G.; PINHEIRO, B.C.A.; HOLANDA, J.N.F. Granulação a seco de uma massa cerâmica para grês porcelanato. **Cerâmica**, 53, p. 295-299, 2007.
- [7] DONDI, M.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C.; Sintering mechanisms of porcelain stoneware tiles. En **Proceedings of SINTERING 2003**, International Conference on the Science, Technology and Applications of Sintering. Penn State University, EE.UU., 2003, 7 pp.
- [8] BERNARDIN, A.M.; MEDEIROS, D.S.; RIELLA, H.G. Pyroplasticity in porcelain tiles. **Materials Science and Engineering**, A 427, 316-319, 2006.
- [9] BIFFI, G. **Il gres porcellanato: manuale de fabbricazione e tecnico di impiego**, Faenza Editrice, Faenza, Italia, 1997, 221 p.
- [10] ANGELERI, F.B. *at al.* Características físico-químicas e tecnológicas de materiais cerâmicos designados usualmente por filitos. **Cerâmica**, v.6, n.22, p.2-15, 1960.
- [11] MORENO, A. *et al.* El boro como fundente auxiliar en las composiciones de gres porcelánico. En **VI Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico – Qualicer**, P.GI. 77 – 92, Castellón, España, 2000.
- [12] QUEREDA, F. *et al.* Uso del carbonato sódico como ligante en composiciones de baldosas cerámicas. En **X Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico – Qualicer**, p.1-15, Castellón, España, 2010.
- [13] NAVARRO, J.M.F. **El vidrio**. Artigraf, S.A. Tercera Edición, Madrid, España, 2003, 684 p.

Recibido: 01/03/2012

Aceptado: 11/04/2012