

# **ESTUDIO DE CASO DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV) COMPARATIVO ENTRE LA PRODUCCIÓN DE GRES PORCELÁNICO ESMALTADO (BIIa) Y GRES DE PASTA ROJA (BIIa)**

**Maykon Cargnin<sup>1</sup>, Ana Luiza Folchini Salgado<sup>2</sup>, Jerônimo Moraes Gomes<sup>2</sup>,  
Agenor De Noni Junior<sup>1,3</sup>, Dachamir Hotza<sup>2</sup>**

1- Instituto Maximiliano Gaidzinski, Cocal do Sul, SC, Brasil

2- Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais,  
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil

3- Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais,  
Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, Brasil

## 1. INTRODUCCIÓN

La fabricación de baldosas cerámicas constituye un sector intensivo en capital, enmarcado en el área de materiales no metálicos, que genera productos como azulejos, gres y gres porcelánico para uso regular en la construcción civil. El gres porcelánico destaca entre estos productos debido a las actuales tendencias decorativas y arquitectónicas. Por otro lado, la industria de baldosas en general y la del gres porcelánico y gres de pasta roja, en particular, demuestran un comportamiento ambiental cuestionable. La industria cerámica es una gran consumidora de materias primas, combustible y electricidad. También contribuye a la generación de residuos sólidos, efluentes líquidos y gaseosos. Por lo tanto, existe una gran preocupación para minimizar los impactos ambientales de su proceso de fabricación. El reciclaje de los residuos sólidos y de agua, el tratamiento de las emisiones de partículas, cloruros, fluoruros y el aumento de la eficiencia energética en los sistemas térmicos son ejemplos de acciones que están siendo aplicados por el sector de baldosas cerámicas por razones tanto económicas como ambientales.

Los impactos ambientales se pueden evaluar utilizando la técnica del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que se refiere a los impactos ambientales de un producto desde la extracción de los recursos naturales y energía hasta la eliminación después del uso. El análisis del ciclo de vida se puede realizar para los productos de ciclo interno a las puertas de la fábrica, que sirve para comparar procesos de producción alternativos (Pereira, 2004), vía seca y vía húmeda por ejemplo. Se puede también comparar el rendimiento ambiental de diferentes tipos de productos utilizados para el mismo propósito, por ejemplo, las baldosas cerámicas con piedras naturales como el mármol (Nicoletti *et al.*, 2002). El ACV es ahora estándar en un conjunto de normas de la serie ISO 14000. La ISO 14040 (2006) establece los principios generales y la ISO 14041 (2006) se refiere a la definición de objetivos y alcance y análisis de inventario. Además, la ISO 14042 (2006) plantea la evaluación del impacto del ciclo de vida y la ISO 14043 (2006) la interpretación del ciclo de vida.

El objetivo de este trabajo es emplear la metodología de ACV para comparar los indicadores de eco-eficiencia de los procesos de fabricación de gres porcelánico esmaltado y de gres de pasta roja producido en una empresa en Brasil.

## 2. METODOLOGÍA

Aquí se presentan los inventarios en los procesos de producción, desde la preparación de la pasta hasta el embalaje del producto. La unidad funcional adoptada fue la de recopilar información por metro cuadrado ( $m^2$ ), ya que estos tipos de producto cerámico se comercializan en esta unidad. Los límites, o fronteras, de los sistemas evaluados son la preparación de la pasta y el embalaje del producto acabado. Este ámbito se aplica a dos productos: gres porcelánico esmaltado 45x45

$\text{cm}^2$  (BIIa) y gres de pasta roja  $45 \times 45 \text{ cm}^2$  (BIIa), clasificados según la ISO 13006 (1998).

Los productos seleccionados para este estudio presentan similitudes y diferencias técnicas y estéticas. Se usan en los dos casos aplicación de engobe, esmalte y serigrafía. Además se usa gas natural como combustible para los atomizadores, secaderos y hornos. Las diferencias están en las materias primas utilizadas y las condiciones del proceso (presión de compactación, humedad del polvo atomizado, temperatura de cocción máxima, etc.). La figura 1 muestra el alcance del proceso de fabricación de ambos productos. Para el gres de pasta roja se utiliza dos capas de tintas de serigrafía y para el gres porcelánico esmaltado sólo una capa.

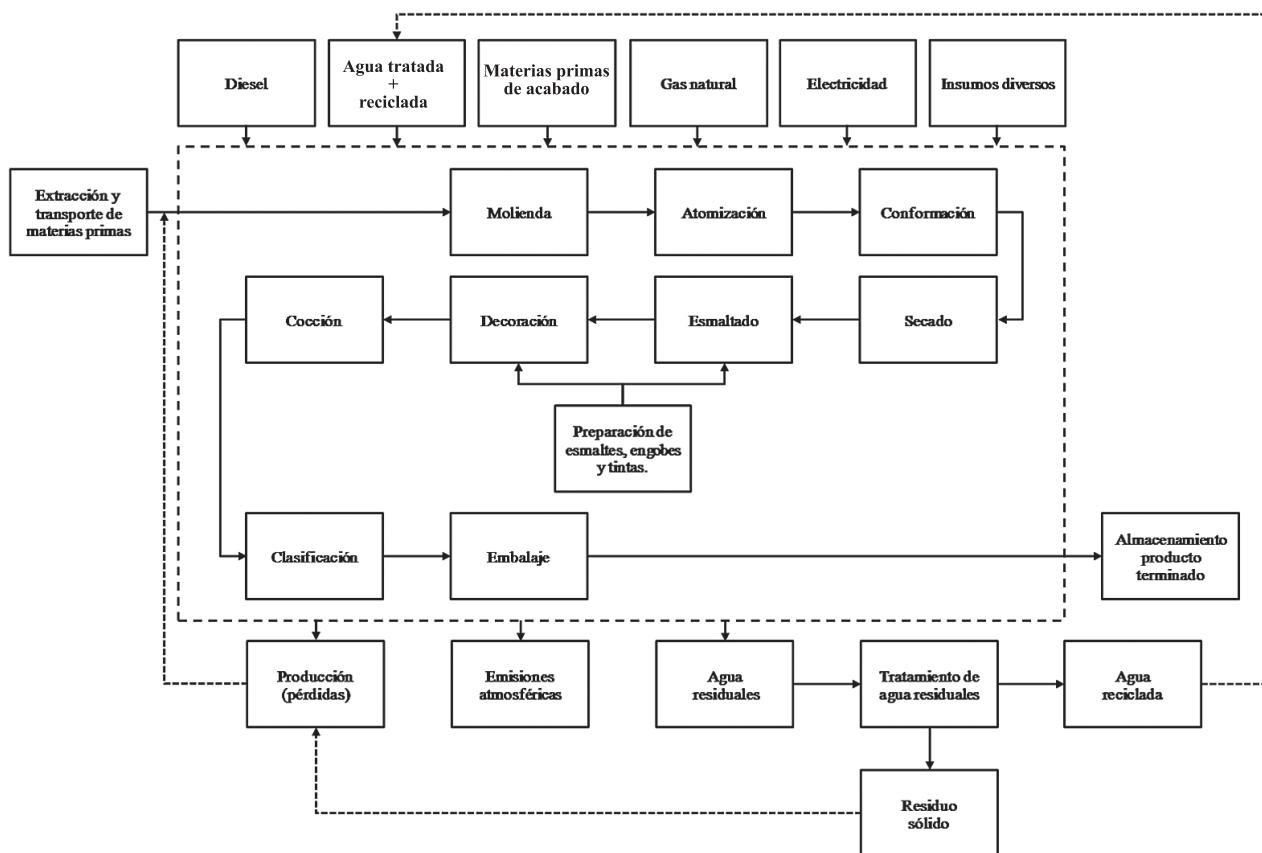


Figura 1 - Diagrama de flujo del proceso de producción de las baldosas cerámicas (ámbito de estudio dentro del marco punteado).

Para llevar a cabo el ACV se requiere información para preparar un inventario, es decir, un balance de masa y energía de cada paso del proceso de producción. Para el gres porcelánico esmaltado se considera una producción media de  $4.000 \text{ m}^2/\text{día}$  ( $17,20 \text{ kg/m}^2$ ), y para el gres de pasta roja con una producción media de  $7.000 \text{ m}^2/\text{día}$  ( $16,89 \text{ kg/m}^2$ ).

En la etapa de preparación de la pasta, que consiste en las operaciones de trituración y pulverización, han sido obtenidas informaciones de las cantidades de cada materia prima, agua, y aditivos. Además se conocen las pérdidas de barbo-

tina, la pérdida de polvo atomizado, la humedad de la barbotina, la humedad del polvo, y el consumo de gas natural y electricidad.

Las informaciones relacionadas con las operaciones de conformación y de secado se obtuvieron siguiendo la misma metodología: la humedad en polvo en la conformación, la masa de la pieza en crudo, peso de la pieza a secar, la humedad residual después del secado, pérdidas en la producción, el consumo de gas natural y electricidad.

En las operaciones de esmaltado, decoración y preparación de los esmaltes, engobes y tintas, la información fue sacada de la hoja de datos de cada producto, como la cantidad de esmalte, engobe, tinta y engobe para el dorso de la baldosa y las medidas del proceso. Los datos también se plantearon de las pérdidas de productos de decoración, esmaltes, engobes, las pinturas y engobe para el dorso de la baldosa, así como del consumo de energía de la línea de esmaltado y preparación. Las cantidades de cada materia prima para la preparación de estos insumos para la producción también se han obtenido.

La información de las operaciones de cocción, clasificación y embalaje se obtuvieron de la masa de los productos, del consumo de gas natural y energía eléctrica, de las pérdidas en la producción, envasado y consumo de adhesivo y del consumo de gas natural de carretillas elevadoras.

Las partículas de materia a partir de las materias primas contenidas en la chimenea de los atomizadores han sido medidas. En las etapas de secado y cocción su contribución es insignificante, por lo tanto no han sido consideradas. Los gases de combustión se estimaron a partir de la cantidad de gas natural consumido en cada paso (CARVALHO JR y LACAVA, 2003). La metodología se basó en los estudios de Soares y Pereira (2004), Pereira (2004) y Tikul & Srichandr (2010).

Las evaluaciones de los eco-indicadores y las comparaciones entre los procesos han sido hechas utilizando el software SimaPro, con el método Eco-indicador 99 (Goedkoop & Spriensma, 2001). Este método ha sido elegido por ser ampliamente utilizado en el análisis del ciclo de vida en Europa. El hecho que los equipos de las industrias brasileñas son muy similares a los europeos permite hacer comparaciones entre ellos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de todas las mediciones realizadas, de acuerdo con la unidad funcional establecida ( $1 \text{ m}^2$ ), se combinaron para cada producto y fase de producción, como se muestra en las Tablas 1, 2, 3, 4 y 5.

Los residuos sólidos generados por las pérdidas de producción en cada paso del proceso, se reciclan en forma de materias primas, así como los residuos del proceso de tratamiento de efluentes. Se observa que se generan  $2,41 \text{ kg/m}^2$  de

residuos en la producción de gres porcelánico esmaltado y 1,42 kg/m<sup>2</sup> en gres de pasta roja, lo que indica la necesidad de reciclaje de estos residuos. Los efluentes líquidos en los dos procesos se utilizaran para limpieza y en la preparación de la pasta, después del tratamiento adecuado. El consumo de electricidad estimado para la producción de gres porcelánico fue 3,58 kWh/m<sup>2</sup> y para el gres de pasta roja, 1,87 kWh/m<sup>2</sup>, mostrando de nuevo una oportunidad para mejorar el proceso de gres porcelánico esmaltado. El consumo total de gas natural fue de 2,36 kg/m<sup>2</sup> para el gres porcelánico esmaltado y 2,34 kg/m<sup>2</sup> para el gres de pasta roja. Esta diferencia se debe a la temperatura de cocción más alta de gres porcelánico esmaltado, 1205°C en relación al gres de pasta roja 1165°C. La cantidad de CO<sub>2</sub> que se libera por el proceso de producción de baldosas cerámicas es significativa (4,94 kg/m<sup>2</sup> para gres porcelánico esmaltado y 5,04 kg/m<sup>2</sup> para gres de pasta roja). Ese gas contribuye al calentamiento global, como se describe Tikul y Srichandr (2010).

Entrada				Salida			
Insumo	Unidad	Gres Porcelánico Esmaltado 45x45 cm <sup>2</sup>	Gres de Pasta Roja 45x45 cm <sup>2</sup>	Item	Unidad	Gres Porcelánico Esmaltado 45x45 cm <sup>2</sup>	Gres de Pasta Roja 45x45 cm <sup>2</sup>
	(x/m <sup>2</sup> )	Cantidad			(x/m <sup>2</sup> )	Cantidad	
Arcillas	kg	18,74	16,75	Polvo atomizado	kg	19,04	17,82
Agua (recuperada)	kg	11,00	9,42	Agua evaporada	kg	9,55	7,98
Desfloculante	kg	0,21	0,21	Barbotina (pérdida)	kg	0,43	0,44
Diesel	kg	1,18.10 <sup>-3</sup>	2,62.10 <sup>-3</sup>	Polvo atomizado (pérdida)	kg	0,22114	7,47.10 <sup>-2</sup>
Gas Natural	kg	1,21	1,14	Partículas retenidas (filtro de mangas)	kg	0,71	5,82.10 <sup>-2</sup>
Electricidad	kWh	1,63	0,27	Partículas (chimenea filtro de mangas)	kg	1,65.10 <sup>-3</sup>	1,54.10 <sup>-3</sup>
				CO*	g	0,33	0,33
				HCl*	g	6,20.10 <sup>-3</sup>	1,38.10 <sup>-2</sup>
				NO <sub>x</sub> *	g	0,35	0,33
				SO <sub>x</sub> *	g	1,93.10 <sup>-2</sup>	2,23.10 <sup>-2</sup>
				CO <sub>2</sub> *	kg	2,20	2,20
				Partículas (combustible)*	g	0,36	0,35

\* Fuente: Carvalho Jr y Lacava (2003) y Pereira (2004).

Tabla 1 - Inventario de la preparación de pasta (molienda y atomización).

Insumo	Entrada			Item	Salida		
	Unidad	Gres Porcelánico Esmaltado 45x45 cm <sup>2</sup>	Gres de Pasta Roja 45x45 cm <sup>2</sup>		Unidad	Gres Porcelánico Esmaltado 45x45 cm <sup>2</sup>	Gres de Pasta Roja 45x45 cm <sup>2</sup>
	(x/m <sup>2</sup> )	Cantidad			(x/m <sup>2</sup> )	Cantidad	
Polvo atómizado	kg	18,90	17,71	Baldosas Secas	kg	17,62	16,64
Gas Natural	kg	0,21	0,24	Aqua evaporada	kg	1,17	0,98
Electricidad	kWh	1,18	0,64	Baldosas (pérdidas)	kg	0,12	8,46.10 <sup>-2</sup>
				CO*	g	2,06.10 <sup>-3</sup>	2,35.10 <sup>-3</sup>
				NO <sub>x</sub> *	g	5,96.10 <sup>-2</sup>	6,80.10 <sup>-2</sup>
				SO <sub>x</sub> *	g	2,77.10 <sup>-3</sup>	3,16.10 <sup>-3</sup>
				CO <sub>2</sub> *	kg	0,50	0,57
				Partículas (combustible)*	g	6,17.10 <sup>-2</sup>	7,04.10 <sup>-2</sup>

\* Fuente: Carvalho Jr y Lacava (2003) y Pereira (2004).

Tabla 2 - Inventario de la conformación y del secado.

Insumo	Entrada			Item	Salida		
	Unidad	Gres Porcelánico Esmaltado 45x45 cm <sup>2</sup>	Gres de Pasta Roja 45x45 cm <sup>2</sup>		Unidad	Gres Porcelánico Esmaltado 45x45 cm <sup>2</sup>	Gres de Pasta Roja 45x45 cm <sup>2</sup>
	(x/m <sup>2</sup> )	Cantidad			(x/m <sup>2</sup> )	Cantidad	
Baldosas Secas	kg	17,62	16,64	Baldosas Esmaltadas y Decoradas	kg	17,86	17,31
Aqua (tratada)	kg	0,17	0,24	Baldosas Esmaltadas y Decoradas (pérdida)	kg	0,36	0,22
Materias-primas	kg	0,70	1,01	Esmaltes, Engobes y Tintas (pérdida)	kg	9,10.10 <sup>-2</sup>	9,21.10 <sup>-2</sup>
Tripolifosfato de sodio	kg	2,55.10 <sup>-3</sup>	3,65.10 <sup>-3</sup>				
Carboximetilcelulosa	kg	1,37.10 <sup>-3</sup>	1,81.10 <sup>-3</sup>				
Conservante	kg	5,40.10 <sup>-4</sup>	7,70.10 <sup>-4</sup>				
Electricidad	kWh	0,26	0,28				

\* Fuente: Carvalho Jr y Lacava (2003) y Pereira (2004).

Tabla 3 - Inventario de las etapas de esmalte, decoración y preparación de esmaltes y tintas.

Insumo	Entrada			Item	Salida		
	Unidad	Gres Porcelánico Esmaltado 45x45 cm <sup>2</sup>	Gres de Pasta Roja 45x45 cm <sup>2</sup>		Unidad	Gres Porcelánico Esmaltado 45x45 cm <sup>2</sup>	Gres de Pasta Roja 45x45 cm <sup>2</sup>
	(x/m <sup>2</sup> )	Cantidad			(x/m <sup>2</sup> )	Cantidad	
Baldosas Esmaltadas y Decoradas	kg	17,86	17,31	Baldosas Queimadas	kg	17,20	16,89
Gas Natural	kg	0,90	0,95	P.p.c.	kg	0,51	0,21
Electricidad	kWh	0,47	0,65	Aqua evaporada	kg	0,15	0,22
				SO <sub>x</sub> *	g	1,19.10 <sup>-2</sup>	1,26.10 <sup>-2</sup>
				CO <sub>2</sub> *	kg	2,14	2,27
				NO <sub>x</sub> *	g	0,25	0,27
				CO*	g	0,50	0,33
				Partículas (combustible)*	g	0,26	0,28
				Fluoruros*	g	1,98	1,98
				Cloruros*	g	3,42	2,30

\* Fuente: Carvalho Jr y Lacava (2003) y Pereira (2004).

Tabla 4 - Inventario de etapa de cocción.

Insumo	Entrada				Item	Salida				
	Unidad	Gres Porcelánico Esmaltado 45x45 cm <sup>2</sup>	Gres de Pasta Roja 45x45 cm <sup>2</sup>	(x/m <sup>2</sup> )		Unidad	Gres Porcelánico Esmaltado 45x45 cm <sup>2</sup>	Gres de Pasta Roja 45x45 cm <sup>2</sup>		
						(x/m <sup>2</sup> )				
Baldosas cocidas	kg	17,20	16,89	Producto terminado (envasados)	kg	16,73	16,44			
Caja de cartón	kg	0,09	0,13	Baldosas (pérdidas)	kg	0,48	0,44			
Pegamento	kg	1,64.10 <sup>-3</sup>	1,41.10 <sup>-3</sup>	SO <sub>x</sub> *	g	5,70.10 <sup>-4</sup>	5,00.10 <sup>-5</sup>			
Gas Natural	kg	4,34.10 <sup>-2</sup>	3,49.10 <sup>-3</sup>	NO <sub>x</sub> *	g	1,23.10 <sup>-2</sup>	9,90.10 <sup>-4</sup>			
Electricidad	kWh	5,10.10 <sup>-2</sup>	3,58.10 <sup>-2</sup>	Partículas (combustible)*	g	1,28.10 <sup>-2</sup>	1,03.10 <sup>-3</sup>			
				CO <sub>2</sub> *	kg	0,10	0,01			

\* Fuente: Carvalho Jr y Lacava (2003) y Pereira (2004).

Tabla 5 - Inventario de las etapas de clasificación y embalaje.

## 4. CONCLUSIONES

A través del inventario se ha podido realizar una evaluación preliminar de los impactos medioambientales de los productos seleccionados. En algunas partes del proceso de producción de gres porcelánico esmaltado hay un mayor consumo de recursos en comparación al gres de pasta roja, haciendo que el comportamiento ambiental sea inferior. Otro aspecto importante a analizar son los gases de combustión, ya que se ven afectados por el tipo de combustible y materias primas, como en la formación de gases nocivos para la capa de ozono. La formación de ácidos, como HCl, originario de los cloruros (así como fluoruros) contenidos en las materias primas, deben ser controlada. Las otras etapas del ciclo de vida de estos productos, tales como la extracción de materias primas básicas, el transporte y el transporte de materias primas utilizadas para el acabado de la preparación de esmaltes, engobes y tintas también deben ser considerados en la obtención y evaluación de los eco-indicadores.

## REFERENCIAS

- [1] CARVALHO JR, José A. de; LACAVA, Pedro T. Emissões em processos de combustão. São Paulo: Editora Unesp, 2003. 137p.
- [2] GOEDKOOP, Mark; SPRIENSMA, Renilde. The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report. 3<sup>rd</sup> ed. Amersfoort: PRE Consultants, 2001. 144p.
- [3] ISO 13006. Ceramic tiles - Definitions, classification, characteristics and marking. International Organization for Standardization, 2006.
- [4] ISO 14040. Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Marco de referencia. International Organization for Standardization, 2006.
- [5] ISO 14041. Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida. Definición de la finalidad y el campo y análisis de inventarios. International Organization for Standardization, 2006.

- [6] ISO 14042 Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida. Evaluación del impacto del ciclo de vida. International Organization for Standardization, 2006.
- [7] ISO 14043 Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida. Interpretación del ciclo de vida. International Organization for Standardization, 2006.
- [8] NICOLETTI, G. M; NOTARNICOLA, B.; TASSIELLI, G. Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. *Journal of Cleaner Production*. v. 10, p. 283-296, 2002.
- [9] PEREIRA, S. W. Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos. Aplicação de avaliação do ciclo de vida. 2004. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- [10] SOARES, S. R; PEREIRA, S. W. Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. *Ambiente Construído*. v. 4, n. 2, p. 83-94, Abr./Jun. 2004.
- [11] TIKUL, Nachawit; SRICHANDR, Panya. Assessing the environmental impact of ceramic tile production in Thailand. *Journal of the Ceramic Society of Japan*. v. 10, n. 118, p. 887-894, 2010.