

# Influencia del transporte de agua en morteros de revestimiento, en la resistencia a la adherencia

## Influence of water transportation inside a mortar/block system on bonding resistance behavior

I.N. Paes \*, E. Bauer \*\*, H. Carasek \*\*\*, E. Pavón<sup>1</sup> \*\*

\* Universidad Federal de Pará. BRASIL

\*\* Universidad de Brasilia. BRASIL

\*\*\* Universidad Federal de Goiás. BRASIL

Fecha de Recepción: 13/01/2014

Fecha de Aceptación: 01/06/2014

PAG 175-186

### Resumen

En el presente trabajo se determina cómo ocurre el transporte de agua, en el sistema mortero/bloque, con el objetivo de vincular el comportamiento de la resistencia a la adherencia por tracción perpendicular, con el transporte de agua y la porosidad del sustrato. Para ello fueron fabricados dos morteros con áridos de diferentes granulometrías, a los cuales se le determinó sus propiedades en estado fresco y en estado endurecido. Se determinó la cantidad de agua transportada, a partir de mediciones de humedad con sensores resistivos, en diferentes capas de los morteros aplicados sobre sustrato de hormigón y sustrato cerámico. Los bloques de albañilería usados como sustrato, fueron caracterizados atendiendo a sus propiedades físicas, relacionadas con la absorción de agua y la porosidad. Los resultados mostraron que existe una relación directa entre el porcentaje de agua transportada en las diferentes capas, con la resistencia a la adherencia del mortero. Comprobándose además, la no existencia de relación entre los ensayos de retención de agua del mortero y el total de agua transportada en el sistema mortero/bloque.

**Palabras claves:** Mortero, revestimiento, transporte, adherencia, propiedades

### Abstract

*In the present study was performed an evaluation of the water transport in the mortar/block system, with the objective of linking the behavior of the bond strength by perpendicular tensile stress, and with water movement and porosity of mortar. This was done by producing two mortars with aggregates of different size distribution. Properties were determined in fresh state and bond strength was measured when hardened. The water transport profile was constructed by resistive sensors for measuring moisture. Measurements were done in different coats of mortars applied on a concrete substrate and the ceramic substrate. Masonry blocks used as a substrate were characterized according to their physical properties related to water absorption and porosity. The profile leads to the transport of water affects the porosity of mortar and showed that there is a direct relationship between the percentages of water being transported at different layers, with resistance to adhesion. Was checked also the not existence of relationship between the water retention test mortar and total water transported in the mortar-block system.*

**Keywords:** Mortar, rendering, transport, bond, properties

## 1. Introducción

Desde el primer momento, después de la aplicación del mortero en la unidad de albañilería, se produce un cambio importante en la estructura interna del material, debido al transporte de agua en el mortero. Esta agua se mueve hacia la estructura porosa de la albañilería, debido a la succión capilar, y hacia la superficie expuesta por el proceso de evaporación de agua.

El sustrato, por su capacidad de absorción de agua, es el mayor responsable por la pérdida de agua del mortero después de su aplicación. Las características superficiales y de porosidad del sustrato, como diámetro, estructura y distribución de poros, influyen directamente en el transporte de agua del mortero para el sustrato (Honorio y Carasek, 2010; Alves et al., 2010; Forth et al., 2000; Scartezini, 2002; Aldo Leonel Temp et al., 2013).

## 1. Introduction

*From the very first moment after applying mortar on the masonry unit, an important change takes place in the inner material structure. This is due the transportation of water inside the mortar. Due to capillary absorption, water moves towards the porous structure and towards the exposed surface due to water absorption process. After its application, the substrate is responsible for mortar water loss, because of its water absorption capacity.*

*Surface substrate and its porosity characteristics, such as diameter, structure and pores distribution directly affect mortar water transportation towards substrate (Honorio and Carasek, 2010; Alves et al., 2010; Forth et al., 2000; Scartezini, 2002; Aldo Leonel Temp et al., 2013).*

<sup>1</sup> Autor de correspondencia / Corresponding author:

Investigador. Programa de Estructura y Construcción Civil. Facultad de Tecnología. Universidad de Brasilia, DF-Brasil.  
E-mail: [elierpavon@gmail.com](mailto:elierpavon@gmail.com), [isaurapaes@uxpa.br](mailto:isaurapaes@uxpa.br)



En relación al mortero, la salida de agua a partir del contacto con el bloque de albañilería es bastante intensa en los momentos iniciales. En la medida en que ocurre el proceso de transporte de agua, la tensión de succión capilar en el bloque en la región de contacto disminuye (con el aumento del porcentaje de humedad en la región superficial del bloque de albañilería), así como disminuye la disponibilidad de agua para el movimiento en el mortero (de Souza et al., 2012). Debe ser recordado que el agua no está completamente libre, para su movimiento en la estructura de poros formados con la succión, puesto que existen fuerzas capilares, fenómenos de adsorción física, así como la fijación de agua por las reacciones con los aglomerantes (cemento y cal) para la formación de los productos de hidratación. Por tanto, la succión de agua para el bloque de albañilería ocurre cuando las resultantes de las acciones de este conjunto de factores, está en el sentido mortero-bloque. Algunas de las principales ecuaciones que intentan explicar parcialmente este fenómeno, fueron descritas por Hall (1986, 1994).

La salida de agua del mortero en los momentos iniciales (algunas horas después del mezclado) y en las edades tempranas (primeros 7 días), es extremadamente importante para el desarrollo de las propiedades del sistema de revestimiento y responsable del surgimiento de patologías (Pereira y Bauer, 2013), como la fisuración por retracción plástica del mortero (Silva y Bauer 2009; Silva et al., 2009).

La salida de agua por evaporación, y por succión capilar de la unidad de albañilería, causa retracción, la cual puede llevar a la fisuración del mortero. Veiga (1998) y posteriormente Silva (2009), evaluaron el efecto de la retracción y asociaron el comportamiento mecánico de los morteros con el desarrollo de la fisuración. En esta misma vertiente, Pereira (2007) efectuó una amplia investigación de la salida de agua por evaporación, correlacionando este fenómeno al mecanismo de pérdida de adherencia.

Otras técnicas experimentales para determinar el transporte de agua en el mortero fresco, como son: trasmisión de neutrones (Groot, 1993), resonancia magnética nuclear (Brocken et al., 1998), ensayos de permeámetro, de succión y de placa de presión (Hendrickx et al., 2010), han sido utilizadas, para intentar explicar mejor este fenómeno.

En relación a la adherencia de los morteros de albañilería, Carasek (1996) mostró la importancia del transporte de agua para el sustrato, evidenciando la formación de productos de hidratación (principalmente etringita) en los poros de los bloques cerámicos, además de la influencia de la porosidad del mortero y el bloque en el desarrollo de la adherencia. En estudios recientes, donde se realiza un análisis microestructural de la inter-fase mortero/bloque, se comprueba que el tamaño, la forma y orientación de los cristales de etringita en esa zona, determina en gran medida la resistencia a la adherencia del mortero de revestimiento (Junior y Gomes, 2009). En otros casos se atribuye la ganancia de resistencia de adherencia a la utilización de aditivo hidrófobo, el cual repele el agua de la interfase y conlleva a que los espacios sean ocupados por finos, densificando esa zona (Costa y John, 2013). Otros autores consideran que el porcentaje de finos en el mortero tiene la mayor influencia, por el efecto que produce en la relación agua/cemento efectiva y en la porosidad del mortero (Miranda y Selmo, 2006), parámetros que pueden ser asociados a la facilidad del mortero para transportar agua hacia el sustrato. En estudios recientes se comprobó que el tipo de filler empleado (Martínez et al., 2013)

*As far as the mortar is concerned, water loss at the moment it gets in contact with the masonry block is quite intense. As long as the water transportation process takes place, capillary absorption tensile stress in the contact surface decreases (with the humidity percentage increase on the masonry block surface). Water availability to be transported in the mortar also decreases (de Souza et al., 2012). We shall consider that water flow does not go alone in the movement of pores structure created by absorption. This is because there are capillary strengths, physical absorption phenomena, as well as water setting due to reactions taking place due to binders (concrete and lime-stone) used to elaborate hydration products. Therefore, in the masonry block, water suction takes place when the resulting actions of this factor set are in the mortar block direction. Some of the main equations leading to partially explain such phenomenon are described by Hall (1986, 1994).*

*Mortar water release at the initial moments (some hours after mixing) and at early ages (first 7 days) is extremely important for the development of the coating system properties. It is also responsible for the origin of pathologies (Pereira and Bauer, 2013), such as cracking due to mortar plastic retraction (Silva and Bauer 2009; Silva et al., 2009). Retraction is caused by water release due to evaporation and due to masonry unit capillary absorption. Retraction may lead to mortar cracking. Veiga (1998) and then Silva (2009) evaluated the effect produced by retraction and they linked mortars mechanical behavior with cracking development. Similarly, Pereira (2007) carried out a detailed research on water release due to evaporation, linking this phenomenon to a de-bonding mechanism.*

*Other experimental techniques used to determine water transportation in fresh concrete have been employed intending to explain this phenomenon, such as neutron transmission (Groot, 1993), nuclear magnetic resonance imaging (Brocken et al., 1998), permeameter test, absorption test and pressure plate tests (Hendrickx et al., 2010).*

*As far as masonry mortars are concerned, Carasek (1996) demonstrated the importance of water transportation for the substrate, evidencing the creation of hydration products (mainly ettringite) on ceramic blocks pores, together with the importance of mortars pores and block pores for the development of bonding. Recent researches, developing a micro-structural analysis of the mortar/block interface, demonstrate that the size, shape and orientation of ettringite crystals in a given area, determine at a large extent the bonding resistance of the rendering mortar (Junior and Gomes, 2009). In other cases, the increased bonding resistance is attributed to the utilization of a water repellent additive, which repels water from the interface so that spaces are filled up with fine aggregates, thus hardening this area (Costa and John, 2013). Other authors consider that fine aggregate percentage in the mortar is the most influencing factor, because of the effect it provokes on water/cement ratio and on mortar porosity (Miranda and Selmo, 2006). These parameters can be associated with the mortar ability to transport water towards substrate. Recent researches proved that filler type (Martínez et al., 2013)*



es un factor determinante de esta y otras propiedades como la retención de agua y la retracción del mortero.

En esta investigación se determina cómo y qué cantidad de agua es transportada desde el mortero hacia el sustrato y se relaciona el comportamiento de la resistencia a la adherencia de diferentes morteros de albañilería, con el transporte de agua en el sistema mortero/bloque. Además, se verifica la no existencia de relación entre el ensayo de retención de agua del mortero y la cantidad de agua transportada en el sistema mortero/bloque.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Materiales y dosificación

Para la preparación de los morteros de revestimiento se utilizó cemento Portland con filler calcáreo (CP II-F-32, brasileño, equivalente al CEM II/A-L), cal aérea hidratada y dos arenas naturales. Estos materiales son comúnmente empleados en la ejecución de morteros de revestimientos y fácilmente adquiridos en la región donde fue realizada la investigación. La Tabla 1 muestra la composición química de los aglomerantes.

is a determinant factor of this and other properties, such as water retention and mortar retraction.

This research determines how and the volume of water transported from the mortar towards the substrate. It also connects bonding resistance behavior of different masonry mortars with water transportation in the mortar/block system. Furthermore, it was proved that there is no relationship between the mortar water retention test and the volume of water transported in the mortar/block system.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Materials and dosages

Rendering mortars were prepared by using Portland cement with lime-stone filler (CP II-F-32, made in Brazil, equivalent to CEM II/A-L), also including air hydrated lime aggregate and two sands from natural origin. Above materials are usually employed for the elaboration of rendering mortars and they are easily obtained in the region where the research was conducted. Table 1 shows the chemical composition of binders.

**Tabla 1.** Composición química del cemento y la cal  
**Table 1.** Chemical composition of cement and lime-stone aggregate

Materiales/ Materials (%)	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cal libre/ Free lime- stone	Pérdida por ignición/ Ignition loss	Residuo Insoluble/ Non- soluble residue
Cemento/Cement	25.95	3.25	4.68	52.99	4.05	2.81	0.34	0.77	1.13	5.16	1.38
Cal	1.28	0.21	0.00	71.98	0.54	0.37	0.05	0.09	24.14	1.28	-

En la Tabla 2, se observan las propiedades físicas de los aglomerantes, empleados para el cálculo de la dosificación de los morteros.

Table 2 shows the physical properties of bonding agents used for mortar calculation and dosages.

**Tabla 2.** Propiedades físicas de los aglomerantes  
**Table 2.** Physical properties of bonding agents

Propiedades/ Properties	Método/Methods	Resultados/Results	
		Cemento/Cement	Cal/Lime-stone
Densidad Aparente/ Apparent density	NBR 7215 (ABNT1982)	0.98 kg/dm <sup>3</sup>	0.59 kg/dm <sup>3</sup>
Peso Específico/ Specific weight	NBR 9676 (ABNT1987)	3.05 kg/dm <sup>3</sup>	2.23 kg/dm <sup>3</sup>
% pasa tamiz #200/ % passing sieve #200	NBR 11579 (ABNT2012)	2.90%	4.90%
	NBR 9289 (ABNT2000)		

Los dos áridos utilizados, fueron arenas medias procedentes de depósitos aluviales, clasificadas según la NBR 7211 (ABNT, 1993). Las propiedades de las mismas pueden observarse en la Tabla 3.

The aggregates employed correspond to average size sands from alluvial deposits, classified under NBR 7211 (ABNT, 1993). Their properties are shown on Table 3.

**Tabla 3.** Resultados de la caracterización de las arenas  
**Table 3.** Results from sand characterization

Propiedades/ Properties	Método/Methods	Resultados/Results	
		Ar1	Ar2
Módulo de Finura/ % pasa tamiz/	NBR NM 248 (ABNT,2003)	2.12	2.40
	NBR NM 46 (ABNT,2003)	4	3.4
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )/	NBR NM 45 (ABNT,2006)	1.36	1.44
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )/	NBR NM 52 (ABNT,2009)	2.64	2.64
Índice de vacíos (%)/	NBR NM 45 (ABNT,2006)	48	43
Coefficiente de uniformidad/	-	3.5	4.4



Se escogieron estas dos arenas por sus diferencias granulométricas, lo cual debe tener influencia en el transporte de agua, ya que fueron fabricados morteros con similar relación cemento/árido e igual contenido de finos, que son algunos de los principales parámetros que determinan las variaciones en las propiedades de los morteros. En este caso estos parámetros estarán constantes, para poder determinar la influencia que tiene el módulo de finura de las arenas en el transporte de agua del mortero hacia el sustrato, así como la influencia del tipo de sustrato.

Las proporciones de las mezclas de materiales fueron definidas a partir de un estudio de dosificación para morteros de revestimiento de paredes externas y tuvo como base las proporciones indicativas establecidas en la NBR 13755 (ABNT, 1996), que varían de 1:0,5:5 a 1:2:8 (cemento: cal hidratada: arena media húmeda, en volumen). La Tabla 4 muestra las dosificaciones utilizadas para la elaboración de los dos morteros empleados. Nótese que existen ligeras diferencias en el contenido de cal, necesarias para mantener en las mezclas la misma cantidad de material fino, puesto que, las arenas no presentan el mismo porcentaje de material pasado por el tamiz #200. Se trabajó con una consistencia superior a los 220mm en la mesa de fluidez, para garantizar una laborabilidad acorde con el proceso de mezclado y técnica de lanzamiento. Además de este criterio de laborabilidad, la cantidad de agua utilizada, tenía que garantizar que ambos morteros obtuviesen similares valores, en los ensayos de retención de agua, para analizar las diferencias entre estos ensayos, con el transporte de agua medido a través de sensores de humedad.

*These two types of sand were selected because of their grain size differences, which might influence water transportation. They were used to elaborate mortars with similar water/aggregate ratio and identical fine aggregates content, which are one of the main parameters determining variations of mortars properties. In such a case, parameters will be constant; so as to determine the influence the sand fineness module has on the mortar water transportation towards the substrate; as well as the influence derived from the type of substrate.*

*Materials mixing ratios were defined in accordance with a dosage research for rendering mortars used for external walls. Ratios are based on the regulation NBR 13755 (ABNT, 1996), varying from 1:0.5:5 to 1:2:8 (cement: hydrated lime-stone: moisture average size sand, in bulk). Table 4 shows dosages employed to elaborate the two types of mortars. WE observe there are slight differences in the lime content, which are necessary to maintain the mixtures with the same amount of fine material, as sand after passing through the sieve #200 has not the same material percentage. A consistency higher than 220 mm was worked out, so as to guarantee machinability in accordance with the mixing process and pouring technique. Apart from this machinability criterion, the amount of water employed had to guarantee that both mortars could have similar values for water retention tests, so as to analyze differences between such tests; measuring water transportation by using humidity sensors.*

**Tabla 4.** Dosificación de los morteros  
**Table 4.** Mortars Dosage

Morteros/ Mortars	Proporción en peso/ Weight ratio	Proporción en volumen/ Volume ratio	Cantidad de agua para revestir un sustrato/ Amount of water used to render a substrate
MA	1:0.73:9.27:1.97	1:1.24:6.82:1.97	1880g
MB	1:0.87:9.27:2.14	1:1.47:6.82:2.14	2043g

En esta investigación además de los morteros, se utilizaron dos tipos de bloques comúnmente empleados en albañilería estructural: cerámico y de hormigón. La selección de este elemento utilizado como sustrato, tiene una gran importancia en el presente estudio, porque su estructura de poros, textura superficial, y propiedades relativas a la absorción, son determinantes en el desarrollo de las propiedades del mortero, en el sistema mortero/bloque. En la Tabla 5 se observan las propiedades de los bloques utilizados en el estudio.

*In addition to mortars, this research employed two types of blocks commonly used for structural masonry: ceramic and concrete blocks. The selection of such material, used as substrate, has a great importance in this research because its porous structure, surface texture and absorption characteristics determine the development of mortar properties, in the mortar/block system. Table 5 shows the properties of blocks under study.*

**Tabla 5.** Resultados de la caracterización de los bloques  
**Table 5.** Results from blocks characterization

Ensayo/ Test	Método/ Method	Bloque de hormigón/ Ceramic block	Bloque cerámico/ Compressive resistance
IRA/IAR (g/200cm <sup>2</sup> /min)	ASTM C-67:12	50.2	25.5
Absorción de agua/Water absorption (%)	NBR 12118(ABNT,2013)	7.1	20.3
Resistencia a compresión/ Compressive resistance (Mpa)	NBR 12118(ABNT,2013)	4.7	4.5

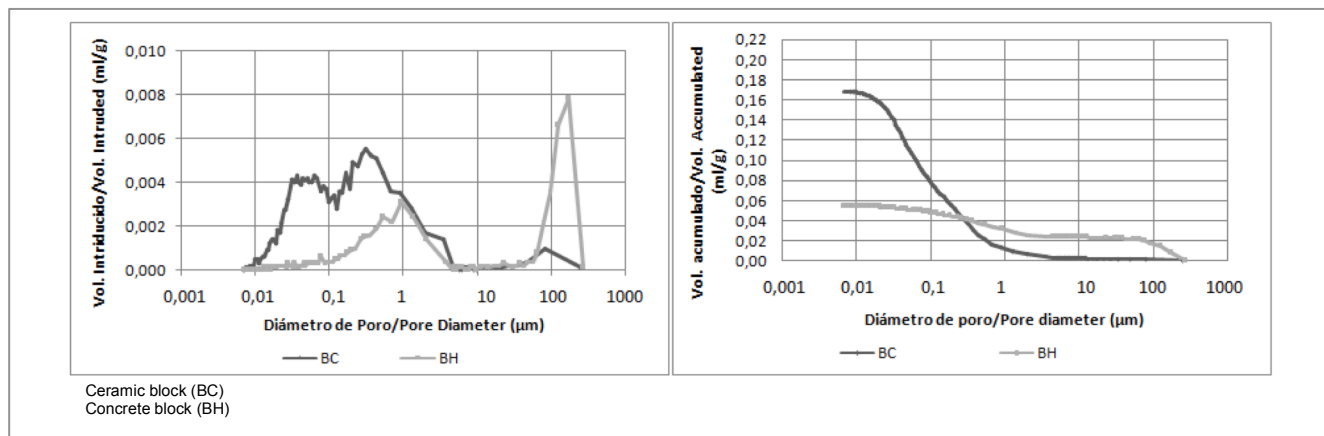


Los resultados se corresponden con la evaluación de las propiedades de los bloques a la edad de 8 meses. Se escogieron bloques con esta edad de fabricación, para evitar en los bloques de hormigón, los cambios en las propiedades, que se producen en edades tempranas como resultado de las reacciones de hidratación de la pasta de cemento, lo que pudiese influenciar en el transporte de agua hacia el sustrato y los resultados de la resistencia a la adherencia.

La Figura 1, muestra los resultados de la porosimetría por intrusión de mercurio realizada a los dos tipos de bloques. Nótese que el bloque cerámico tiene aproximadamente tres veces más volumen de poros que el bloque de hormigón, lo que está en correspondencia con los valores de absorción de agua que se aprecian en la Tabla 5. Por otra parte el volumen de poros comprendidos en el intervalo de 5 a 1000µm, que pueden ser clasificados como grandes poros capilares, es considerablemente mayor en el bloque de hormigón, lo que justifica el valor de la tasa de absorción inicial más elevada que presenta este, en relación al bloque cerámico. En la investigación realizada por Rato (Rato 2006), fue comparado este comportamiento en morteros, en la misma se obtuvo una relación directa entre el total de agua absorbida y el volumen de poros disponibles, y entre los poros de mayor tamaño y la absorción inicial de agua por capilaridad.

*Results are in accordance with the evaluation of blocks properties, at the age of 8 months. Blocks of this age were selected so as to avoid changes of properties in concrete blocks. Changes take place at early ages as the result of cement paste hydration reactions, which might influence the water transportation towards the substrate, as well as affecting the bonding resistance results.*

*Figure 1 shows the results from mercury-intrusion porosimetry developed on the two blocks types. We observe that ceramic block has a volume approximately three times higher than concrete block. These values are in accordance with water absorption results indicated on Table 5. On the other hand, the pores volume of interval 5 to 1000µm, which can be classified as big capillary pores, is considerably greater in the concrete block. This explains the higher value of initial absorption rate the concrete block has, if compared to the ceramic block. In the research developed by Rato (Rato 2006), this behavior was compared among mortars. The same research yielded a direct relation between the total absorbed water and the available pores volume, as well as a direct relation between biggest size pores and the initial water absorption by capillarity.*



**Figura 1.** Distribución de poros de los bloques  
**Figure 1.** Pores distribution in blocks

## 2.2 Programa experimental

En la fase experimental fueron elaboradas probetas de mortero de 4x4x16cm para la determinación de las propiedades de los morteros, según el procedimiento descrito en la ABNT NBR 13276:2005. Para las mediciones del transporte de agua fueron revestidos los bloques cerámicos y de hormigón utilizando un dispositivo que consiste en una "caja de caída", donde el mortero revestimiento es lanzado desde una altura estándar (50 cm) en caída libre, con una energía de impacto fija a la llegada del mortero a la superficie del bloque, de acuerdo con el procedimiento descrito por Paes (2004).

Para el monitoreamiento del movimiento de agua en los morteros que revisten los bloques, se desarrollaron sensores resistentes de humedad, para obtener un perfil de la evolución del transporte de agua, del mortero fresco al sustrato poroso, como describe Paes (2004).

## 2.2 Experimental programme

*For the experimental stage, mortar specimens were elaborated, 4x4x6cm, so as to determine mortars properties, according to procedure described by the ABNT NBR 13276:2005. In order to measure water transportation, ceramic blocks and concrete blocks were coated by using a device which is a "freefall box". The rendering mortar is poured from a standard distance (50cm) in freefall, with fixed impact energy when the mortar makes contact with the block surface, in accordance with the procedure described by Paes (2004).*

*So as to control water transportation in mortars covering the blocks, humidity resistant sensors were developed, in order to obtain the evolution profile of water transported from fresh mortar to the porous substrate, as described by Paes (2004).*



Los sensores (ver Figura 2) se inician en una condición de saturación (100% de humedad) compatible con las condiciones de humedad del mortero recién mezclado. En la medida que el agua es transportada hacia el sustrato, la humedad de los sensores comienza a disminuir, por lo tanto, 100 menos la lectura del sensor, indica el porcentaje de agua que ha sido transportada en la camada por unidad de tiempo. Por estar el bloque de hormigón revestido en un ambiente de humedad relativa de 100%, el movimiento del agua, se produce desde el mortero hacia el bloque (los bloques se encuentran secos en el momento de la aplicación del mortero). Los sensores miden la humedad en la posición en la que fueron dispuestos (cerca de la superficie, en la camada intermedia superior e inferior y en la inter-fase mortero/bloque), quedando definido así para el estudio cuatro camadas: superior, intermedia-superior, intermedia-inferior e inter-fase. Las mediciones de los sensores se definieron mediante el análisis de la interrelación entre las medidas de corriente eléctrica y de humedad, donde cada sensor utilizado, tiene una curva de calibración individual. Estos fueron colocados con la ayuda de una estructura metálica, en el interior de una plantilla, lo que definió también el espesor total de la capa de mortero (50mm), como puede verse en la Figura 2. Para este espesor de recubrimiento fueron colocados ocho sensores (dos por camada), o decir, dos próximos a la superficie, dos en la camada intermedia superior, dos en la camada intermedia inferior y dos en la camada de la inter-fase.

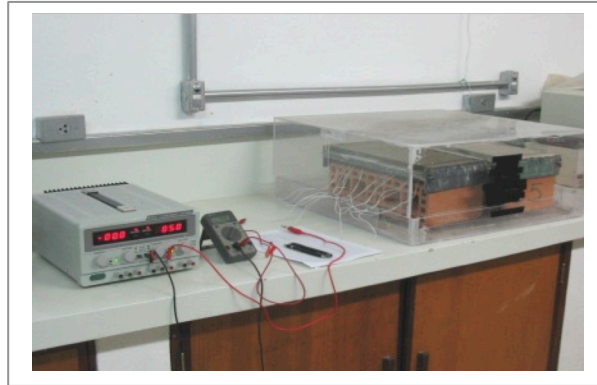
*Sensors (Figure 2) start under a saturation condition (humidity 100%), which is compatible with the humidity conditions of mortar just mixed. As long as water is transported towards the substrate, humidity contained by sensors start decreasing, therefore, 100 less the sensor reading indicates the percentage of water transported by the litter per unit of time. Concrete block is coated in a relative humidity environment at 100% and water is transported from the mortar towards the block (blocks are dry at the moment of mortar application). Sensors record humidity from the position they were fixed (close to the surface, at the intermediate upper and lower litter and in the mortar/block interface). This arrangement was set for the study of four litters: upper, intermediate-upper, intermediate-lower and interface. Sensor recordings were defined by means of the interrelation analysis between electric current and humidity, where each sensor has its own calibration curve. Sensors were installed with the assistance of a metal structure, inside a template, which also defined the total thickness of mortar coating (50mm), as shown on Figure 2. For this coating thickness, eight sensors were fixed (two per litter), i.e. two of them fixed close to the surface; two in the intermediate-upper litter; two in the intermediate lower litter and two in the interface template litter.*



**Figura 2.** Posición de los sensores para la medición del transporte de agua  
**Figure 2.** Arrangement of Sensors for measuring water transportation

Después del lanzamiento del mortero en los bloques, este conjunto fue colocado en un recipiente herméticamente cerrado que mantiene la humedad relativa alrededor de 100%, como se muestra en la Figura 3. Este procedimiento se realizó con el objetivo de cuantificar el transporte de agua por succión del bloque, evitando así la pérdida de agua por evaporación desde el mortero.

*After pouring mortar on blocks, this arrangement was placed inside a hermetically sealed container keeping relative humidity close to 100%, as shown on Figure 3. This procedure was carried out to quantify water transportation by suction in the block, thus avoiding water loss from the mortar due to evaporation.*



**Figura 3.** Equipamiento para la medición del transporte de agua en el mortero  
**Figure 3.** Device used to measure water transportation in the mortar

Las lecturas para la evaluación del movimiento del agua del mortero fresco, se realizaron hasta las primeras nueve horas (540 minutos), con un total de 25 lecturas de humedad en cada camada. En la primera media hora se tomaron lecturas cada 2,5 minutos, y en el resto del tiempo se espaciaron cada 10, 30 y 50 minutos. Durante este período (9 horas) una porción importante del agua ya ha sido transportada al sustrato (generalmente, mayor del 65%), lo que permite, independientemente del resto de las variables involucradas, establecer una correlación de este comportamiento, con el desempeño del recubrimiento, teniendo en cuenta que los dos tipos de morteros fueron fabricados con los mismos aglomerantes y estuvieron expuestos a condiciones similares, durante las mediciones y posteriores a estas. En los morteros que obtuvieron similares valores de resistencia a la adherencia y de transporte de agua, a la edad de 28 días, fueron tomadas diferentes porciones de los mismos para determinar su porosidad, para, a través de porosimetría por intrusión de mercurio, poder explicar mejor el comportamiento de los mismos.

### 3. Resultados y discusión

Con el objetivo de determinar como ocurre el transporte de agua del mortero hacia el sustrato y su posible relación con los ensayos de retención de agua, así como la existencia de relación entre los valores de transporte de agua y la adherencia de los morteros, son presentados y discutidos a continuación los resultados de la caracterización de los morteros, del transporte de agua y los valores de adherencia obtenidos por los dos morteros en los diferentes sustratos.

#### 3.1 Resultados de la caracterización de los morteros

La Tabla 6 muestra los resultados de la evaluación de los morteros en estado fresco y endurecido. Obsérvese que los valores de consistencia son superiores a los 220mm de diámetro en la mesa de fluidez, como fue definido en el trabajo. El mortero MB resultó ser más fluido, por la utilización en el mismo, de una mayor cantidad de agua para compensar la mayor presencia de cal, necesaria para mantener constante el contenido total de finos y a su vez garantizar similares resultados en los ensayos de retención de agua.

*Recordings for the evaluation of water transportation from the fresh mortar were carried out during the first nine hours (540 minutes), totalizing 25 humidity recordings from each litter. In the first half an hour, recordings were made every 2.5 minutes, later they were recorded every 10, 30 and 50 minutes. During the total 9-hour period, an important portion of water had already been transported to the substrate (generally, more than 65%). Independently from the rest of variables involved, this enables us to establish a correlation between such behavior and the coating performance, taking into account that the two mortars were elaborated using the same binder agents and; that they were exposed to similar conditions during recordings and after those were completed. From mortars obtaining similar bonding resistance and water transportation values, at the age of 28 days, different samples were extracted so as to determine porosity, by using mercury-intrusion porosimetry, with the purpose of explaining their behavior.*

### 3. Results and discussion

*In order to determine how does water transportation from the mortar towards the substrate take place and its potential relationship with water retention tests, as well as the relation between water transportation values and mortar bonding values; the results from mortars characterization, from water transportation and bonding values obtained by two mortars in different substrates are shown and discussed below.*

#### 3.1 Results from mortars characterization

*Table 6 shows the results from the mortar evaluation in fresh and hardened conditions. We shall observe that consistency values are higher than 220mm diameter on the fluidity device, as previously defined by this study. Mortar MB happened to be more fluid, due to a higher amount of water to compensate the higher content of lime-stone aggregate, which is necessary to maintain the total fine aggregate content under steady condition, thus guaranteeing similar results from water retention tests.*



**Tabla 6.** Propiedades físicas de los aglomerantes  
**Table 6.** Physical properties of bonding agents

Estado/ Condition	Propiedades/ Properties	Método/Methods	Morteros/Results	
			MA	MB
Fresco/ Fresh	Consistencia (Penetración de cono)/ Consistency (Cone penetration) (mm)	BS 1377/75	22.0	29.0
	Fluidez (mesa)/ Fluidity (mm)	NBR 13276 (2005)	221	252
	Tensión de corte (Ensayo Vane)/ Shear tensile stress (kPa)	ASTM D 4648-00	1.19	1.51
	Aire incorporado/ Incorporated air (%)	NBR 13278 (2005)	5	6.5
	Retención de agua (papel filtro)/ Water retention (paper filter) (%)	NBR 13277 (2005)	88	89
	Retención de agua (embudo)-15 minutos/ Water retention (funnel)-15 minutes (%)	NBR 13277 (2005)	69	70
	Densidad/ Density (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 13278 (2005)	1.88	1.89
Endurecido/Hardened	Resistencia a compresión/ Compressive resistance (Mpa)		2.82	3.55
	Resistencia a tracción/ Tensile stress (Mpa)		1.07	1.17
	Módulo de elasticidad/ Elasticity modulus (Mpa)		7710	8680

Obsérvese que, tal y como fue definido, los ensayos relativos a la retención de agua, tanto el ensayo del embudo, como el ensayo del papel de filtro, mostraron similar resultado en los dos morteros, lo que indica que en este caso, las condiciones a la que son sometidos los morteros para la extracción de agua de su interior, no son suficientes para provocar diferencias en el comportamiento de estos dos morteros, diferenciados en el módulo de finura de la arena empleada y en la relación a/c. En estas condiciones de ensayos, parece ser que la utilización de igual contenido de finos en los morteros, fue el factor que influenció en mayor medida los resultados de esta propiedad. A pesar de que las propiedades mecánicas del mortero B son ligeramente superiores a las del mortero A, se pueden considerar similares, ya que ambos morteros clasifican según la norma brasileña de especificación, como mortero clase P3-R2, atendiendo a la resistencia a compresión y a tracción, respectivamente.

### 3.2 Transporte de agua

A partir de las lecturas de humedad de los sensores, fue determinada la cantidad de agua transportada en tres regímenes de flujo de agua: Régimen 1 (R1) de 0 a 5 minutos, Régimen 2 (R2) de 5 a 60 minutos y Régimen 3 (R3) de 60 a 540 minutos, estos fueron definidos en el estudio realizado por Paes 2004. En la Tabla 7 se muestran los resultados del transporte de agua en los dos morteros, para los diferentes sustratos en las cuatro camadas definidas.

As it was previously defined, we confirmed that tests related to water retention, such as the funnel test and paper filter test showed similar results for the two mortars. This case indicates that conditions mortars undergo to retrieve water from their inside are not enough to provoke differences in the behavior of these mortars (differing by sand fineness module and w/c ratio). For these test conditions, it seems to be that the utilization of an equal amount of fine aggregates in mortars was the factor that influenced this property the most. Although mechanical properties of mortar B are slightly higher than mortar A, they can be considered as equal, since both classify under the Brazilian standard as mortar type P3-R2, in regards to compressive resistance and tensile strength, respectively.

### 3.2 Water transportation

By using the humidity sensor recordings, the amount of water transported was classified into three water flow regimes: Regime (R1) from 0 to 5 minutes, Regime 2 (R2) from 5 to 60 minutes, Regime 3 (R3) from 60 to 540 minutes, in accordance with the research developed by Paes 2004. Table 7 shows the results of water transportation for both mortars, on different substrates of the four defined litters.





**Tabla 7.** Resultados de la medición del transporte de agua en las capas de los morteros por tipo de sustrato**Table 7.** Results from water transportation recordings on mortar litters per type of substrate

Sustrato/ Substrate	Mortero/ Mortar	Régimen/ Regime	Tiempo/ Time (min)	Índice de agua transportada/ Transported water index (g/min172)				Agua transportada/ Transported water (%)			
				Sup/ Upper	Inter-sup/ Interm.upper	Inter-inf/ Interm.lower	Inter-fas/ Interface	Sup/ Upper	Inter-sup/ Interm.upper	Inter-inf/ Interm.lower	Inter-fas/ Interface
Bloque Cerámico (BC)/ Ceramic Block (BC)	MA	R1	0 a 5	17	25	42	59	2 (38g)	3 (56g)	5 (94g)	7 (132g)
		R2	5 a 60	71	74	76	81	28 (526g)	29 (546g)	30 (564g)	32 (601g)
		R3	60 a 540	21	22	22	23	25 (470g)	26 (488g)	26 (489g)	27 (508g)
		Total (1880g)						55 (1034g)	58 (1090g)	61 (1147g)	66 (1241g)
	MB	R1	0 a 5	55	64	64	82	6 (123g)	7 (143g)	7 (143g)	9 (184g)
		R2	5 a 60	94	91	97	94	34 (694g)	33 (674g)	36 (716g)	34 (696g)
		R3	60 a 540	13	13	13	15	14 (286g)	14 (286g)	14 (286g)	16 (327g)
		Total (2043g)						54 (1103g)	54 (1103g)	57 (1145g)	59 (1207g)
Bloque de Hormigón (BH)/ Concrete Block (CB)	MA	R1	0 a 5	51	59	67	93	6 (113g)	7 (132g)	8 (150g)	11 (207g)
		R2	5 a 60	89	91	91	94	35 (658g)	36 (676g)	36 (677g)	37 (696g)
		R3	60 a 540	17	18	19	21	20 (376g)	21 (395g)	22 (414g)	21 (470g)
		Total (1880g)						61 (1147g)	64 (1203g)	66 (1241g)	69 (1373g)
	MB	R1	0 a 5	91	101	110	128	10 (204g)	11 (226g)	12 (246g)	14 (286g)
		R2	5 a 60	91	97	103	107	33 (674g)	36 (716g)	37 (766g)	39 (797g)
		R3	60 a 540	21	20	20	19	23 (470g)	21 (429g)	21 (429g)	20 (408g)
		Total (2043g)						66 (1348g)	68 (1371g)	70 (1441g)	73 (1491g)

Sup: Camada superior/ Upper: Upper litter

Inter-sup: Camada intermedia superior/ Inter-upp: intermediate upper litter

Inter-inf: Camada intermedia inferior/ Inter-lower: intermediate lower litter

Inter-fas: Camada de la interfase/ Interface: interface litter

De acuerdo con los resultados obtenidos relativos al transporte de agua, se observa que las mayores diferencias son motivadas por el tipo de sustrato donde son colocados los morteros. El mismo mortero (tanto el A como el B), cuando es aplicado sobre sustrato de bloque de hormigón, se produce en todas las capas un mayor movimiento de agua, con respecto a cuando es aplicado sobre sustrato de bloque cerámico, evidenciando el índice de transporte de agua, que la velocidad de transporte es mucho más intensa en el bloque de concreto, principalmente en los regímenes uno y dos, en las capas más próximas a la inter-fase. Esto se debe a los mayores valores de tasa inicial de absorción que presenta el bloque de concreto con relación al bloque cerámico, como resultado de tener el bloque de hormigón, poros interconectados de mayor tamaño y con mayor volumen (ver porosidad crítica en la Figura 1). Obsérvese que la cantidad de agua transportada no tiene una relación directa con el total de poros y consecuentemente con la absorción total del sustrato, puesto que el flujo de agua va a depender más del tamaño de los poros y su interconexión, ya que poros de mayor tamaño traen consigo una elevada tensión de succión capilar que facilita el movimiento de agua.

According to results obtained for water transportation, we observe that the greatest differences are caused by the type of substrate where mortars are placed. When the same mortar (A as well as B) is applied on the concrete block substrate, there is greater water transportation than when applied on a ceramic block substrate. The water transportation index shows that transportation speed in concrete block is quite intense for regimes 1 and 2: the litters close to the interface. This is due to the higher initial absorption rate developed by the concrete block compared to the ceramic block; because the concrete block has interconnected pores of bigger size and higher volume (see critical porosity on Figure 1). We observe that the amount of transported water is not directly related with total porosity and, consequently, it is not connected with the substrate total absorption rate; because water flow depends on the pores size and their interconnection, as bigger size pores increase capillary absorption tension, which facilitates water movement.



Este comportamiento diferenciado de morteros idénticos, en distintos sustrato, con las mismas condiciones de aplicación (2-3), ha sido observado en diversas investigaciones (31-33). En este sentido es importante señalar, que a pesar de no haber sido objeto de estudio de esta investigación, el tratamiento de la superficie del sustrato, trae consigo también diferencia en las propiedades de un mortero aplicado en el mismo tipo de sustrato, con tratamientos diferentes.

Cuando se compara el comportamiento de los morteros (A y B), cuando son aplicado sobre un mismo sustrato, se obtienen diferencias en valores de transporte de agua en el caso del bloque de hormigón. En este caso, es evidente que el mortero B en todas las capas presenta un flujo mayor de agua y creciente en el sentido de la capa de la superficie a la capa de la interfase. Como los morteros fueron dosificados manteniendo la relación cemento/árido y similar contenido de finos, la principal diferencia se encuentra en la distribución granulométrica de las arenas utilizadas. Obsérvese en la Tabla 3, que la arena empleada en el mortero B es más gruesa, por lo tanto, los autores consideran que el factor que condicionó el mayor flujo de agua en el mortero B, fue la distribución granulométrica, identificada en este caso por el módulo de finura de la arena. Granos de mayor tamaño, facilitaron el movimiento de agua, comportamiento no apreciado en los ensayos de retención de agua. Véase también, que los valores de retención de agua en los dos morteros fue prácticamente el mismo, pudiéndose concluir que el hecho de obtener perfiles de succión diferentes para un mismo sustrato, refleja, que el ensayo de retención de agua como es realizado, no es capaz de identificar el real comportamiento del transporte de agua en los morteros sometidos a succión.

En el bloque cerámico se reduce la tasa inicial de succión, mientras que la succión ocurre por mucho más tiempo, pudiendo llegar a ser superior a la del bloque de hormigón. No se aprecian grandes diferencias en los valores de transporte de agua en los morteros A y B, cuando son aplicados sobre el bloque cerámico son bastante próximos, lo que se debe a la baja tasa de succión inicial del bloque cerámico en comparación con el bloque de hormigón.

### 3.3 Resistencia de adherencia por tracción perpendicular

A pesar de no poder atribuirse solamente los valores de adherencia, al transporte de agua, por la cantidad de factores envueltos en el sistema, si se puede afirmar que hubo una contribución efectiva del transporte de agua (hacia el sustrato), en el resultado obtenido de resistencia a la adherencia. Se pudo comprobar que existe una relación directa entre estos dos factores, comportamiento evidenciado en otros estudios (Aldo et al., 2013; Peas, 2004; Pereira, 2007; Pereira y Bauer, 2013).

La Figura 4 muestra los resultados de resistencia a la adherencia por tracción perpendicular, en los cuatro casos la ruptura predominante fue la cohesiva (por el mortero). En la misma están representados los valores medios obtenidos y el intervalo correspondiente a una probabilidad del 95%.

*This differentiated behavior on identical mortars, in different substrates, under the same application conditions (2-3) has been studied by diverse research jobs (31-33). In this way, and although it was not the purpose of this research, it is worthwhile mentioning that the substrate surface treatment also involves properties differences on the mortar applied on the same type of substrate using different treatments.*

*When comparing mortars (A and B) behaviors, applied in the same substrates, there are differences on water transportation values for the case of concrete block. In this case, it is clear that mortar B, in all litters, shows greater water flow, which increases in direction from the surface litter towards the interface litter. As mortars dosage keeps the water/aggregate rate constant with similar amount of fine aggregates, the main difference lies in the grain size distribution of the sand employed. We observe on Table 3, that the sand employed for mortar B is thicker, therefore, authors consider that the factor conditioning the highest water flow in mortar B is the grain size distribution, which is determined by the sand fineness module in this case. Greater size grains facilitated water transportation; this behavior was not observed during water retention tests. It was also observed that mortar water retention was practically identical, thus leading us to the conclusion that having different absorption profiles for a given substrate reflects that water retention test – in the way it is performed – is not capable of identifying the actual behavior of water transportation on mortars subjected to suction.*

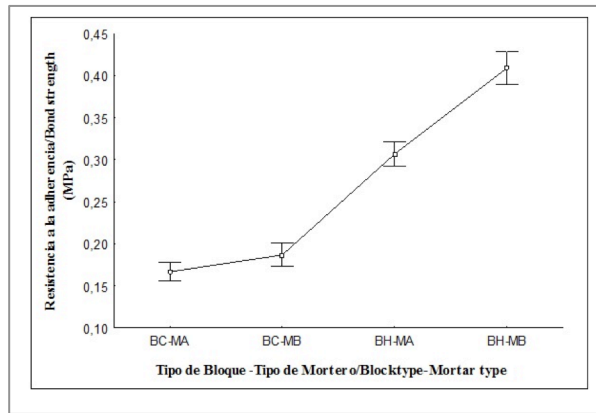
*The initial absorption rate is reduced in the ceramic block, while absorption takes longer, and it can be higher than in the concrete block. There are no significant differences on the water transportation values for mortars A and B; when they are applied on the ceramic block values are quite similar, which is produced by the decrease of initial absorption rate of the ceramic block in comparison to the concrete block.*

### 3.3 Bonding resistance by perpendicular tensile stress

*In the result obtained for bonding resistance there was an effective contribution made by water transportation (towards the substrate). Such result cannot only be explained by bonding or water transportation results or different factors involved in the system. It was proven that there is a direct relationship between these two factors, which are supported by other studies (Aldo et al., 2013; Peas, 2004; Pereira, 2007; Pereira and Bauer, 2013).*

*Figure 4 shows the results of bonding resistance by perpendicular tensile stress. In the four cases the prevailing cracking was cohesive (by mortar). The figure shows the average values and the interval corresponding to a probability of 95%.*





**Figura 4.** Resistencia a la adherencia de los morteros  
**Figure 4.** Mortars bonding resistance

Nótese que en los dos tipos de morteros (A y B) fue significativamente superior la adherencia cuando estos fueron aplicados en el sustrato de hormigón, en comparación con su aplicación en el sustrato cerámico, comprobándose que existió relación directa entre esta propiedad y el total de agua transportada, siendo en todos los casos mayor en el bloque de hormigón para un mismo tipo de mortero. Comparando los morteros entre sí, se pudo verificar también, que en el caso del sustrato de hormigón, el mortero B, debido al mayor módulo de finura de la arena empleada en la fabricación del mortero, transportó más agua hacia el sustrato y obtuvo los mayores valores de resistencia a la adherencia, mientras que el caso del sustrato cerámico, no se observaron diferencias significativas en los valores de resistencia a la adherencia, lo que está en correspondencia con la proximidad de los valores de transporte de agua obtenido en ese caso, donde la máxima diferencia encontrada en los totales de agua transportada en las capas de los morteros fue de 6%, correspondiente a la capa de la superficie.

## 4. Conclusiones

A las principales conclusiones que se arribó tras el análisis de los resultados de las propiedades de los morteros, los valores de transporte de agua y la resistencia a la adherencia de los morteros en los dos tipos de sustrato, fueron las siguientes:

- Con mediciones de porcentaje de humedad a través de sensores resistivos, colocados en el mortero de revestimiento en estado fresco, es posible determinar la cantidad de agua que es transportada por el mortero, en las horas iniciales, después de la aplicación del mismo.
- En el caso de estudio, existió una relación directa entre el porcentaje de agua transportada en las diferentes capas, con la resistencia a la adherencia del mortero.
- La cantidad de agua transportada por un mismo mortero en diferentes sustratos, dependió del tamaño y volumen de la porosidad crítica del sustrato, obteniéndose por tanto, en todos los casos, mayores valores de agua transportada en los revestimientos de bloques.

We observe that in both mortar types (A and B) the bonding resistance was significantly higher when they were applied on the concrete substrate, in comparison to the ceramic substrate. It was proven that there is a direct relationship between this property and the total amount of water transported, being in all cases higher in the concrete block for the same type of mortar. By comparing mortars, it was also proven that in the case of concrete substrate, mortar B transported more water towards the substrate because the sand employed in the elaboration had a higher fineness module. Mortar B obtained higher values for bonding resistance, while the ceramic substrate did not show significant values. Above agrees with the proximity values of water transportation obtained in this case, where the maximum difference found in the total water transportation for mortar litters was 6%, which corresponds to the surface litter.

## 4. Conclusions

The main conclusions reached from results analysis on mortars properties, water transportation values and mortars bonding resistance in the two substrate types are the following:

- By recording humidity percentage using resistant sensors, placed in the rendering coating in fresh condition, it is possible to determine the amount of water transported by the mortar, in the very first hours after its application.
- The case under study showed a direct relationship between transported water in different litters and the mortar bonding resistance.
- The amount of transported water by the same mortar in different substrates depended on the size and volume of the substrate critical porosity; therefore, in all cases the highest values of transported water were obtained from rendering blocks.



- El mayor módulo de finura de la arena utilizada en el mortero B, parece ser el principal responsable de los valores más elevados de transporte de agua y de resistencia a la adherencia obtenidos por el mortero B, en relación al mortero A, en el bloque de hormigón.
- Los resultados permitieron verificar la no existencia de relación entre los ensayos de retención de agua del mortero y el total de agua transportada en el sistema mortero/bloque.
- *The higher fineness module of sand employed with mortar B seems to be responsible for higher values of transported water and bonding resistance obtained by mortar B compared to mortar A in the concrete block.*
- *Results proved that there is no relationship between the mortar water retention test and the total amount of transported water in the mortar/block system.*

## 5. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer el apoyo logístico y financiero de las siguientes entidades:

- Laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad de Brasilia (LEM/UnB).
- Consejo Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPQ)
- Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior (CAPES)

## 5. Acknowledgments

Authors wish to thank for the logistic and financial support provided by the following organizations:

- *Materials Test Laboratory at the University of Brasilia (LEM/UnB)*
- *National Board of Scientific Development (CNPQ)*
- *Coordination Agency for Post-graduate Education (CAPES)*

## 6. Referencias/References

- Aldo Leonel Temp, A.L. et al. (2013)**, Avaliação de revestimentos de argamassas à permeabilidade e a aderência à tração, X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, Brasil.
- Alves A., Carasek H. y Cascudo O. (2010)**, Influência da umidade do revestimento na resistência superficial avaliada por diferentes métodos de ensaio, 3ro Congresso Portugues de Argamassas de Construção, Lisboa, Portugal.
- Brocken H.J.P. et al. (1998)**, Water extraction out of mortar during brick laying: A NMR study. *Matériaux et Constructions*, 31, 49–57.
- Carasek H. (1996)**, Aderência de argamassa à base de cimento Portland a substratos porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação, São Paulo, Universidade de São Paulo.
- Costa E.B., John V.M. (2013)**, Efeito da absorção do substrato na aderência, X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, Brazil.
- De Souza C., Guimaraes R.P., de Carvalho M.C.R. (2012)**, Comportamento térmico de modelos em escala real construídos em alvenaria estrutural de bloco cerâmico e de concreto, 54 Congresso Brasileiro do Concreto, Maceio, Brasil.
- Forth J.P., Brooks J.J., Tapsir S.H. (2000)**, Cement & Concrete Composites, The effect of unit water absorption on long-term movements of masonry, 9465(00). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946500000275>.
- Groot C.J.W.P. (1993)**, Effects of water on mortar – brick bond, Technische University Delft.
- Hall C. (1994)**, Water. Movement in Porous Building Materials XI, Capillary Absorption from a Hemispherical Cavity, 29(1), 99–104. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360132394900582>.
- Hall C., Tse T.K.-M. (1986)**, Water movement in porous building materials—VII, The sorptivity of mortars, *Building and Environment*, 21(2), 113–118. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/036013238690017X>
- Hendrickx R., Roels S., Van Balen K. (2010)**, Measuring the water capacity and transfer properties of fresh mortar, *Cement and Concrete Research*, 40(12), 1650–1655. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000888461000178X>
- Honorio T., Carasek H. (2010)**, Influência da absorção de água do substrato na resistência superficial de revestimentos de argamassa, 3ro Congresso Portugues de Argamassas de Construção, Lisboa, Portugal.
- Junior A.N. de C., Gomes P.R. (2009)**, Caracterização microestrutural da interface argamassa mista / bloco cerâmico, VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Curitiba, Brasil.
- Martínez I. et al. (2013)**, A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars, *Construction and Building Materials*, 49, 384–392. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813007794>
- Miranda L.F.R., Selmo S.M.S. (2006)**, CDW recycled aggregate renderings: Part I – Analysis of the effect of materials finer than 75µm on mortar properties, *Construction and Building Materials*, 20(9), 615–624. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061805001212>
- Paes I.N.L. (2004)**, Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós- aplicação, Universidade de Brasilia.
- Pereira C.H.A.F. (2007)**, Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa, Brasilia, Universidade de Brasilia.
- Pereira C.H.A.F., Bauer E. (2013)**, Avaliação da perda de água de argamassas de revestimento por evaporação e por absorção do substrato, X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, Brasil.
- Rato V. (2006)**, Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas, Universidade de Nova Lisboa.
- Scartezini L.M.B. (2002)**, Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca, Universidad Federal de Goias.
- Silva F.G.S., Bauer E. (2009)**, Avaliação da fissuração em argamassas, VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Curitiba, Brasil.
- Silva N.G. et al. (2009)**, Metodologia para avaliação da fissuração em revestimento de argamassa, VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Curitiba, Brasil.
- Veiga M.R. (1998)**, Comportamento de argamassas de revestimento de paredes, Contribuição para o estudo da sua resistência a fendilhação, Universidad de Porto.

