

# 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).

<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: transmisión 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)



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.

**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.

**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.

**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/	NBR NM 248 (ABNT,2003)	2.12	2.40
% pasa tamiz/	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.

**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

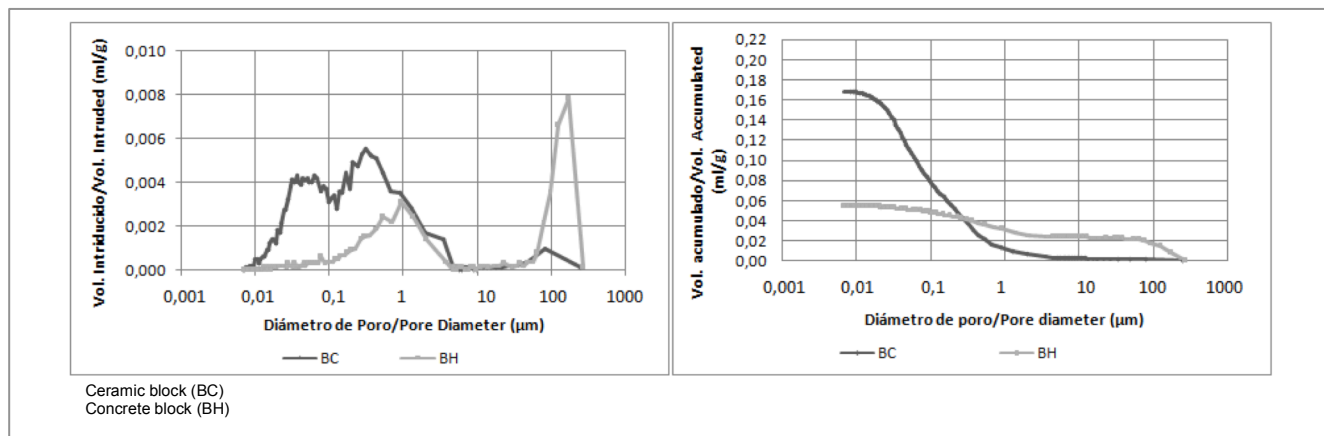
En esta investigación además de los morteros, se utilizaron dos tipos de bloques comúnmente empleados en albañilería estructural: cerámico y de hormigón. La selección de este elemento utilizado como sustrato, tiene una gran importancia en el presente estudio, porque su estructura de poros, textura superficial, 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.

**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 1000 $\mu\text{m}$ , 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.



**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 resistivos de humedad, para obtener un perfil de la evolución del transporte de agua, del mortero fresco al sustrato poroso, como describe Paes (2004).

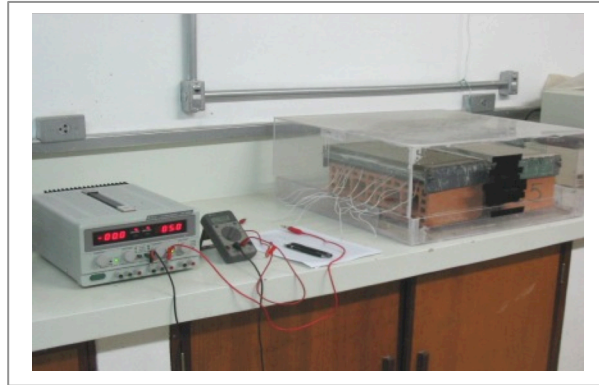


Los sensores (ver Figura 2) se inician en una condición de saturación (100% de humedad) compatible con las condiciones de humedad del mortero recién mezclado. En la medida que el agua es transportada hacia el sustrato, la humedad de los sensores comienza a disminuir, por lo tanto, 100 menos la lectura 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.



**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.



**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.

in



**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.

**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: Capada superior/ Upper: Upper litter

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

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

Inter-fas: Capada 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.



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.

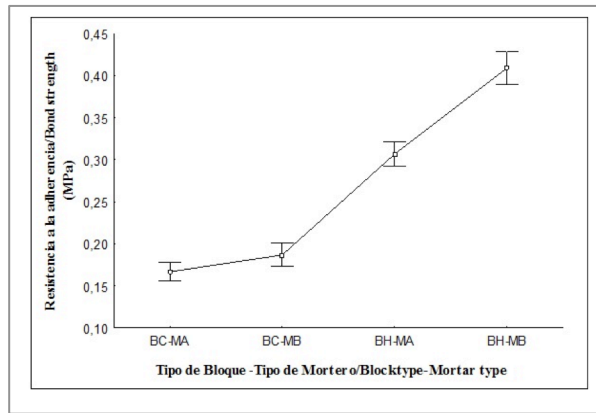
Cuando se compara el comportamiento de los morteros (A y B), cuando son aplicado sobre un mismo sustrato, se obtienen diferencias en valores de transporte de agua en el caso del bloque de hormigón. En este caso, es evidente que el mortero B en todas las capas presenta un flujo mayor de agua y creciente en el sentido de la capa de la superficie a la capa de la inter-fase. 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%.



**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.

- 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.

## 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)

## 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.

