





Análisis comparativo de la efectividad y eficiencia de tres sistemas de impermeabilización

I R. S. Kmick¹, M. G. Gazolla¹, R. M. da Silva Junior¹,
A. P. B. Capraro^{*2}, K. A. W. Moreira¹

*Autor de Contacto: anapcapraro@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.509>

Recepción: 11/09/2020 | Aceptación: 30/10/2020 | Publicación: 01/01/2021

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar comparativamente los sistemas de impermeabilización empleados en el mercado brasileño. Los productos evaluados fueron: emulsión de asfalto, resina acrílica y resina termoplástica. Para evaluar la efectividad de los sistemas, se realizaron pruebas de estanqueidad, absorción por inmersión y capilaridad, siendo este último también analizado por imágenes termográficas. Para el análisis de eficiencia de los sistemas, se adoptó un patrón de envejecimiento acelerado, que consistía en alternar las muestras en ciclos húmedos y secos. Los resultados indican un buen desempeño para los sistemas estudiados, que en comparación con las series no impermeables presentaron absorbancias más bajas (aproximadamente 300%). La prueba de envejecimiento acelerado indicó, después de 140 días de edad, una reducción en el rendimiento de la serie impermeabilizada.

Palabras clave: sistemas de impermeabilización; efectividad; eficiencia; envejecimiento acelerado; reducción de rendimiento.

Citar como: Kmick, R. S., Gazolla, M. G., da Silva Junior, R. M., Capraro, A. P. B., Moreira, K. A. W. (2021), "Análisis comparativo de la efectividad y eficiencia de tres sistemas de impermeabilización", Revista ALCONPAT, 11 (1), pp. x-x, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.509>

¹ Engenharia Civil, Centro Universitário Araucária, Araucária, Brasil.

² Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

Contribución de cada autor

En este trabajo, los autores Renata dos Santos Kmick, Micheli Gazolla y Renato Moura da Silva Junior contribuyeron a la discusión de la idea original y al desarrollo de ensayos y recolección de datos. La autora Ana Paula Brandão Capraro contribuyó a la discusión de la idea original, redacción del trabajo y discusión de resultados. El autor Kirke Moreira contribuyó a la recopilación de datos y redacción del trabajo.

Licencia Creative Commons

Este trabajo está publicado bajo los términos de una Licencia Internacional Creative Commons Atribución 4.0 Internacional ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2021 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2021.

Comparative analysis of the effectiveness and efficiency of three waterproofing systems

ABSTRACT

The objective of this study was to comparatively analyze waterproofing systems used in Brazil. The evaluated products were: asphalt emulsion, acrylic resin and thermoplastic resin. In order to evaluate the effectiveness of the systems the tests measured the tightness and the absorption by immersion and capillarity, the last one was also analyzed by thermographic images. For the systems efficiency analysis an accelerated aging pattern was adopted, which consisted of alternating the samples in wet and dry cycles. The results indicate a good performance for the studied systems, in comparison to the non-impermeable series, it presented lower absorbance (approximately 300%). The accelerated aging test indicated, after 140 days of age, a reduction in the performance of the waterproofed serie.

Keywords: waterproofing systems; effectiveness; efficiency; accelerated aging; yield reduction.

Análise comparativa da eficácia e eficiência de três sistemas impermeabilizantes

RESUMO

O objetivo desse estudo foi analisar comparativamente sistemas de impermeabilização empregados no mercado brasileiro. Os produtos avaliados foram: emulsão asfáltica, resina acrílica e resina termoplástica. Para avaliação da eficácia dos sistemas foram realizados os ensaios de estanqueidade, absorção por imersão e capilaridade, sendo esse último também analisado por imagens termográficas. Para a análise da eficiência dos sistemas foi adotado um padrão de envelhecimento acelerado, o qual consistiu na alternância das amostras em ciclos de molhagem e secagem. Os resultados indicam um bom desempenho para os sistemas estudados, que quando comparados a série não impermeabilizada apresentaram absorções inferiores (aproximadamente 300%). Já o ensaio de envelhecimento acelerado indicou, posteriormente aos 140 dias de idade, redução do desempenho das séries impermeabilizadas.

Palabras clave: sistemas de impermeabilização; eficácia; eficiência; envelhecimento acelerado; redução de desempenho.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de impermeabilización son esenciales para asegurar la durabilidad de cualquier construcción y su negligencia puede traer como resultado la infiltración, la cual propicia mecanismos patológicos como la lixiviación, degradación del concreto, corrosión de armaduras y burbujas en los revestimientos (Aldea e Shah, 1999).

Un material considerado impermeable es aquel que impide el paso de agua de un plano para otro. O incluso, un sustrato que no absorba más que 2,5% de humedad cuando es comparado a una muestra de referencia (Basheer *et al.*, 2001).

La falta de información al respecto de las técnicas y el uso de materiales inadecuados, entre otros factores, por mucho tiempo fueron los responsables por los fracasos en la impermeabilización (PICCHI, 1986). El costo de una impermeabilización bien concebida y ejecutada puede representar 1% a 3% del valor de una obra. Pérdidas que surgen de los costos de mantenimiento de un inmueble pueden llegar de 5% a 10% del valor del desarrollo (Bauer *et al.*, 2010).

Nuevas normas, como es el caso de la NBR 15575 (ABNT, 2013), y actualizaciones de normas existentes vienen direccionando las recomendaciones a la atención de las necesidades y desempeños de las edificaciones, exigiendo que todos los sistemas habitacionales atiendan a un nivel mínimo de desempeño a lo largo de la vida útil determinada en proyecto (VUP).

El sistema de impermeabilización actualmente más usado es el que hace uso de manto asfáltico (Menezes, 2018), por lo tanto, los fabricantes han invertido bastante en investigaciones de desarrollo de nuevos productos, ampliando el mercado y trayendo el beneficio de la durabilidad en las obras, con reducción de costos.

De acuerdo con Andrello y Takagi (2017), aplicando un producto con mayor desempeño, se economiza en la aplicación y mantenimiento de la edificación. Además, según el mismo autor, los fabricantes tienen productos con la misma finalidad, sin embargo, las características cambian de producto a producto. Si el consumidor o el aplicador no dan atención para eso, podrá aplicar un producto de forma igual para todos los casos, no logrando de esa forma, el desempeño esperado.

Tomando en consideración lo expuesto, el presente estudio tuvo por objetivo el análisis comparativo de la eficacia y eficiencia de tres sistemas impermeabilizantes, disponibles en el mercado, y recomendados, por sus fabricantes, para ser utilizados en la losa de techo no transitable. Para el análisis de la eficacia de los sistemas impermeabilizantes, es decir el éxito del sistema como capa impermeable del concreto, fueron realizados los ensayos de estanqueidad (NBR 15575-3, 2013), absorción por inmersión (NBR 9778, 2005) y absorción por capilaridad (NBR 9779, 2012) con edad inicial, posteriormente al curado de los sistemas aplicados. Para el análisis de la eficiencia del sistema, es decir el desempeño a lo largo del tiempo, fueron realizados los mismos ensayos de absorción por inmersión (NBR 9778, 2005) y absorción por capilaridad (NBR 9779, 2012), sin embargo, luego de la exposición de las muestras en ciclos de mojado y secado, visando representar un ciclo de envejecimiento acelerado de los sistemas.

2. METODOLOGÍA

Este estudio contó con la realización de un programa experimental, con la confección de muestras de concreto y protección de estas como los materiales impermeabilizantes a ser evaluados.

2.1 Materiales impermeabilizantes

Para la elección de los tres productos impermeabilizantes usados en la presente investigación fueron tomados en consideración: (i) el local de aplicación, siendo este recomendado para el mismo fin entre los tres productos, recomendación hecha por los fabricantes; (ii) los productos ser normalizados; (iii) y la clasificación, en cuanto la vida útil, por el IBI (Instituto Brasileiro de

Impermeabilización), siendo seleccionadas tres topes distintos de vida útil esperada. Fueron seleccionadas tres membranas, las cuales atienden a los criterios de fabricación y aplicación de las normas NBR 9685 (ABNT, 2005), NBR 13321 (ABNT, 2008), NBR 15885 (ABNT, 2010) y a los criterios de vida útil del IBI, citados por Morgado *et al.* (2018). Los productos, y sus respectivas normas y vida útiles están presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Productos impermeabilizantes usados en la investigación.

Grupo de los Productos	Membranas		
Norma (ABNT, NBR)	9685:2005	13321:2008	15885:2010
Productos	Emulsión Asfáltica	Membrana Acrílica	Resina Polimérica
Vida útil (IBI)	8	16	26

La membrana de emulsión asfáltica tiene como base asfalto modificado con polímeros y es emulsionado en agua, pronta para su uso y no agresiva al medio ambiente. Según el fabricante, mantenido en secreto por aspectos éticos, sus características son: buena performance de elasticidad y flexibilidad, la adherencia, la fácil manipulación y la aplicación. El producto puede ser aplicado en ambientes cerrados, formando una membrana continua y sin empalmes, con resistencia y durabilidad. Su uso puede ser en terrazas, jardineras, muros de contención, saunas, cámaras frigoríficas, canales, losas de pequeñas dimensiones, paredes y pisos fríos.

La membrana de resina acrílica es un material mono componente, aplicable en frío y listo para su uso. Debido a sus características, citadas por el fabricante, también mantenido en secreto, es considerado un excelente impermeabilizante y de buena durabilidad, fácil aplicación, buena elasticidad, resistente a los rayos U.V, con buena adherencia en sustratos cementíceos y fibrocemento y refleja rayos solares, reduciendo parte del calor absorbido por la estructura. Su aplicación puede ser en techos abovedados e inclinados, losas de concreto, canales de concreto, balcones y terrazas, techos de tanques y tejas de fibrocemento.

La resina termoplástica es un impermeabilizante flexible, bi componente, a base de polímeros acrílicos con cemento y reforzado con fibras, especialmente indicado para estructuras sujetas a movimiento. Es recomendado el uso en estructuras hidráulicas y que tenga contacto con agua potable, áreas húmedas como baños, balcones y fachadas, losas de techo con tráfico eventual y con sus debidas juntas de dilatación, piscinas y tanques, jardineras, entre otros. Presenta alta flexibilidad y estiramiento, pudiendo quedar expuesto al tiempo (resistente a los U.V) y resistente a altas presiones hidrostáticas positivas. Además, según el fabricante, posee fácil y rápida aplicación pudiendo ser aplicado manual o proyectada, no necesitando de curado.

La descripción de los productos impermeabilizantes que fueron utilizados en la investigación está dispuesta en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de los productos impermeabilizantes usados en la investigación.

Producto	Componentes	Características
Emulsión Asfáltica	Asfalto (40-70% de concentración)	Densidad: 0,95 a 1,05 g/cm ³ Viscosidad: 9.000 a 12.000 Cps Color: negro
Membrana Acrílica	Agua, cargas minerales, emulsión acrílica, pigmento, estabilizantes, antiespumante, biácida.	Densidad: 1,2 g/cm ³ Viscosidad: 1000 a 2500 Cps Color: Blanco
Resina Termoplástica	Polímeros Acrílicos (Resina Termoplástica), Cemento Portland (25 - 50% de concentración)	Densidad: 1,60g/cm ³ Color: Gris

2.2 Moldeado de las muestras

Las muestras usadas en el estudio fueron confeccionadas con concreto de cemento Portland CPV-ARI, resistencia de 35 MPa, dosis base 1:1:6 con relación agua/cemento de 0,495. El cemento usado posee peso específico de 3,13 g/cm³, el agregado fino posee la dimensión máxima 2,4mm y peso específico de 2,62 g/cm³ y el agregado grueso usado fue una piedra 1, de peso específico igual a 2,65 g/cm³.

Para el análisis de desempeño de los productos fueron moldeados 32 probetas cilíndricas 0,10x0,20m y 4 losas, con dimensiones de 0,6x0,6x0,07m. Posterior al curado de 28 días del concreto de las muestras, fue realizada la aplicación de los productos, según las orientaciones de las fichas técnicas (Tabla 3).

Tabla 3. Aplicación de los productos impermeabilizantes usados en la investigación.

Producto	Especificaciones	Intervalos	Tiempo de Secado
Emulsión Asfáltica	2 a 3 manos	12 horas	5 días
Membrana Acrílica	3 a 4 manos	6 horas	1 días
Resina Termoplástica	Espesor entre 2 a 4mm	6 horas	7 días

2.3 Análisis experimental

Las muestras de concreto moldeadas fueron sometidas a ensayos experimentales, los cuales tuvieron por objetivo evaluar la eficacia y la eficiencia del producto usado como impermeabilizante.

Para el análisis de la eficacia de los sistemas, es decir, desempeño inicial de los productos cuando son comparados con la serie referencia, está sin ninguna protección, fueron realizados los ensayos de test de estanqueidad, absorción por inmersión y absorción por capilaridad.

Los resultados de los ensayos de absorción por inmersión y absorción por capilaridad, que son cualitativos por presentar diferencias porcentuales de absorción, fueron analizados estadísticamente, por medio del ensayo de Tukey, con 95% de confianza. El ensayo tiene por objetivo destacar la menor diferencia significativa, estadísticamente, entre los datos analizados. Así siendo, con intervalo de 95% de confianza, las series (referencia de las tres impermeabilizadas) fueron comparadas, a fin de ser evaluada la diferencia estadística entre ellas en los ensayos cuantitativos realizados.

Para el ensayo de estanqueidad fueron utilizadas las cuatro losas, siendo tres de ellas con los productos seleccionados para la investigación y una para la comparación del comportamiento sin protección, siendo la muestra referencia. Las losas fueron sometidas al ensayo de estanqueidad, siendo expuestas a una lámina de agua de 0,03m por 72 horas, a través de un recipiente transparente y sellado, según recomendación del Anexo C NBR 15575-3 (ABNT, 2013), Figura 1.



Figura 1. Ensayo de estanqueidad realizado en laboratorio.

En paralelo fueron utilizados 12 probetas 10x20cm para la realización del ensayo de absorción por inmersión, de acuerdo con la NBR 9778 (ABNT, 2005), siendo 3 con aplicación de los productos y 3 para la serie referencia, sin aplicación. Posterior a dicha aplicación y secado de los productos, las probetas fueron llevadas a la estufa por 72 horas, a 40°C. La temperatura de secado fue así adoptada para evitar una sollicitación que los materiales no resistan. Luego del secado, fueron registradas los pesos de las muestras secas y posteriormente a los períodos de inmersión (24, 48 y 72 horas), fueron también registrados los pesos muestras inmersas.

Además, fue realizado el ensayo de absorción de agua por capilaridad, según NBR 9779 (ABNT, 2012). Fueron utilizadas 20 probetas, de las cuales 5 fueron impermeabilizados por la mitad, con cada impermeabilizante y 5 como referencia, sin aplicación de producto. Fue realizada la impermeabilización solamente de la parte inferior por ser la parte de la muestra en contacto con el agua durante el ensayo. Pasado el tiempo de secado de los productos, las probetas fueron llevadas a estufa bajo temperatura de 40°C por 72 horas y enfriadas a temperatura ambiente por 24 horas. Después de determinar el peso seco, las probetas fueron llevados a un soporte y expuestos a una lámina de agua constante de 10mm. Durante el ensayo, fue determinado el peso saturado de las probetas en intervalos de 3h, 6h, 24h, 48h y 72h. Luego de la determinación del peso, las probetas fueron ensayadas por compresión diametral, para permitir medición de la distribución del agua en su interior con el uso de termografía infrarroja.

Para la evaluación de la eficiencia de los productos, es decir su desempeño a lo largo del tiempo, fue adoptada una condición de envejecimiento acelerado, la cual consistió en un ciclo semanal de probetas cilíndricas usadas en el ensayo de absorción por inmersión. El ciclo alternó las muestras entre una condición de mojado (inmersión) y secado (exposición al sol e intemperie). El patrón de envejecimiento fue adoptado por ya haber sido utilizado en otros trabajos que buscaron acelerar el envejecimiento (Gao *et al.*, 2013; Gong *et al.*, 2016; Jiang y Niu, 2016).

Las muestras usadas en el análisis del envejecimiento acelerado fueron sujetas a tres conjuntos de ciclos, siendo cada uno compuesto por 8 ciclos (8 semanas), siendo las edades de análisis 84, 140 y 196 días. En las edades mencionadas, las probetas fueron sujetas a los procedimientos mencionados en el ensayo de absorción por inmersión.

3. RESULTADOS

3.1 Estanqueidad

Luego de realizar en las losas el ensayo de estanqueidad, éstas fueron observadas por 72 horas. Todavía, en el período evaluado, el cual es recomendado por la NBR 15575 (ABNT, 2013), no fue constatada la aparición de burbujas, infiltración en la parte inferior de las losas ni disminución del nivel de agua en la referencia de 0,03m. La Figura 2 presenta parte de las cuatro losas estudiadas, indicando la estanqueidad de todos los sistemas.

Cabe destacar que como todas las losas fueron consideradas estancas, no fue evaluada la diferencia de comportamiento, responsable de ser identificada por este ensayo, entre la muestra referencia (sin protección) y las muestras impermeabilizadas.

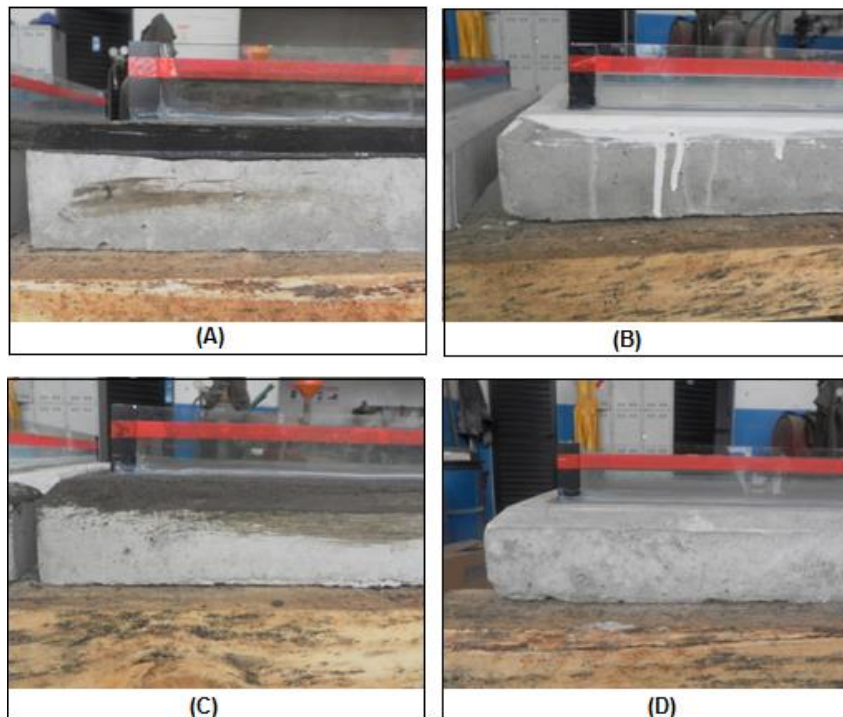


Figura 2. Resultado del ensayo de estanqueidad luego de 72 horas. A – Losa con emulsión asfáltica; B – Losa con membrana acrílica; C – Losa con resina termoplástica; D – Losa referencia.

3.2 Absorción por inmersión

La Figura 3 presenta los resultados colectados para el valor de absorción por inmersión. El valor promedio inicial, en 24 horas, de las probetas impermeabilizadas fue de 0,3%, contra 5,17% de las probetas de referencia. Luego del período de 72 horas se observó un pequeño aumento de los valores, siendo el promedio de absorción de las probetas impermeabilizadas de 0,4%, y de 5,23% para la serie de referencia. Considerando la absorción referencia de 2,5% citada por Basheer *et al.* (2001), se nota que solamente las muestras impermeabilizadas pueden ser consideradas como sustratos estancos.

Analizando comparativamente los resultados obtenidos para las series impermeabilizadas se notó un comportamiento semejante entre ellas, y satisfactorio comparado con la serie referencia. Por la desviación estándar obtenida, las series emulsión asfáltica y resina termoplástica pudieron ser consideradas estadísticamente equivalentes, por el ensayo de Tukey, en todas las lecturas realizadas. A la edad final evaluada, 72 horas de ensayo, la membrana acrílica fue la que presentó

el menor valor, validado estadísticamente, entre todas las series evaluadas, indicando su mejor desempeño durante este ensayo.

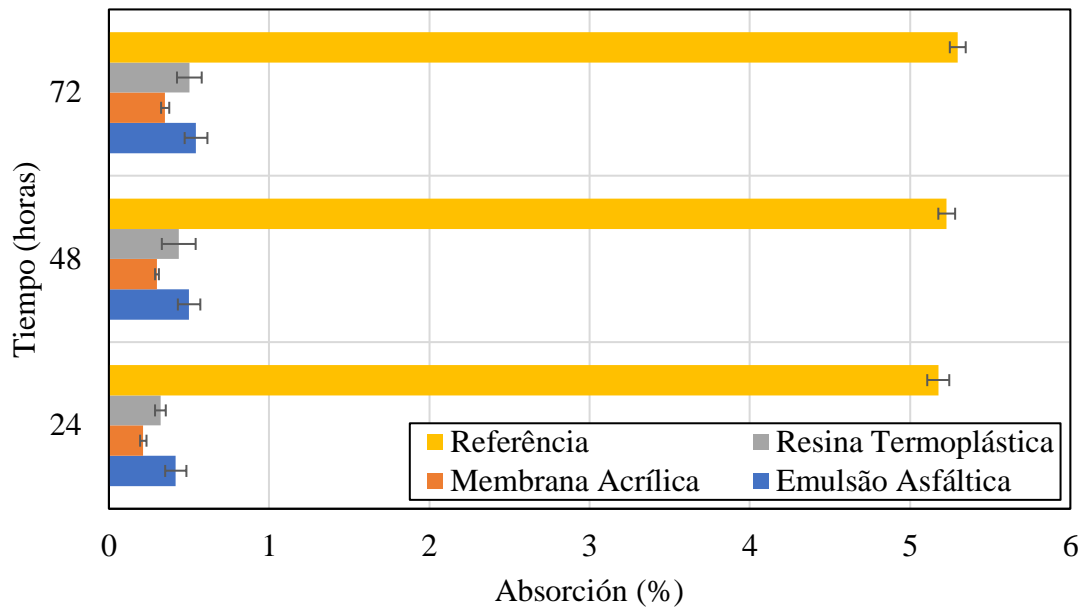


Figura 3. Resultado del ensayo de absorción por inmersión.

3.3 Absorción por capilaridad

En el período inicial del ensayo, 3 y 6 horas, el comportamiento de las probetas con los productos impermeabilizantes se puede considerar similar, ya que el promedio de la absorción en esos períodos fue entre 0,659%, siendo todos considerados estadísticamente equivalentes por el ensayo estadístico aplicado. Por tanto, en el último intervalo de lectura del ensayo, 72 horas, las probetas de la serie resina termoplástica presentaron menor valor de absorción de 1,05%, contra un promedio de 2,34% de los demás productos. Al final del ensayo la serie referencia tuvo una absorción 7,9 veces mayor que la serie de resina termoplástica, que tuvo el mejor comportamiento. La emulsión asfáltica y membrana acrílica se mantuvieron con equivalente estadísticamente, considerando la mayor variabilidad de desviación estándar entre ellos, según Figura 4.

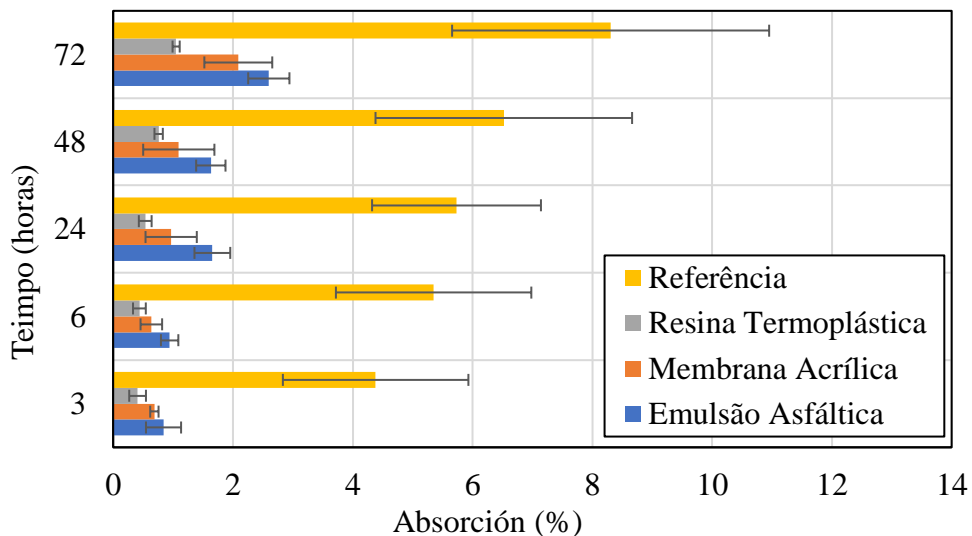


Figura 4. Resultado del ensayo de absorción por capilaridad.

El mejor desempeño de la resina termoplástica en el ensayo de absorción capilar confirma la indicación de Pezzolo (2013), que propone el uso del material para impermeabilización en rodapiés de paredes de drywall.

El análisis visual de las probetas sometidas al ensayo de compresión diametral y posteriormente, al análisis por termografía infrarroja, permitió la confirmación del desempeño inferior de la serie referencia y del desempeño semejante entre las series impermeabilizadas.

La Figura 5 presenta las probetas de la serie referencia que fueron sometidas al ensayo de compresión diametral. Para el caso de esa serie se notó una altura promedio del ascenso capilar de 4,3cm.

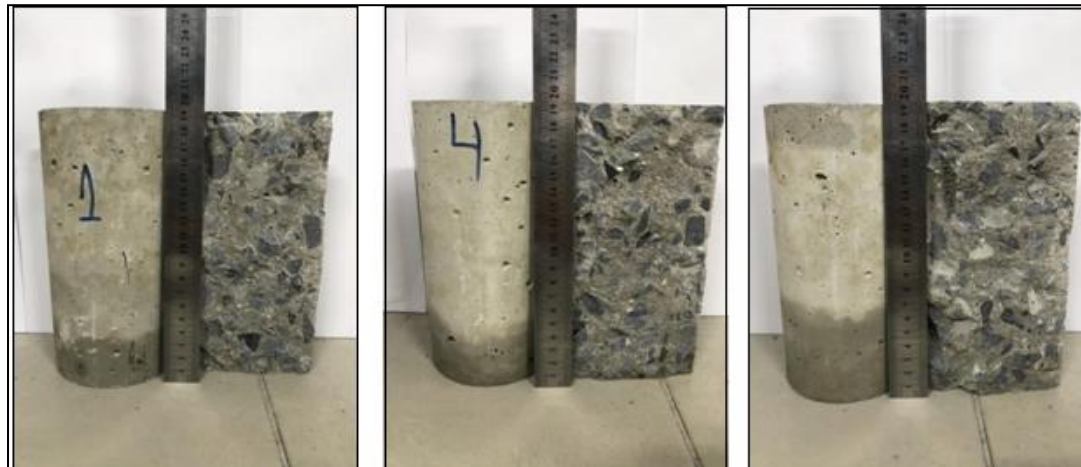


Figura 5. Probetas de la serie referencia posterior al ensayo de compresión diametral.

Las imágenes termográficas para la serie referencia, Figura 6, confirman la percolación del agua para el interior de la probeta, visto que la temperatura obtenida en el ensayo fue la menor entre las series estudiadas (23,1 °C).

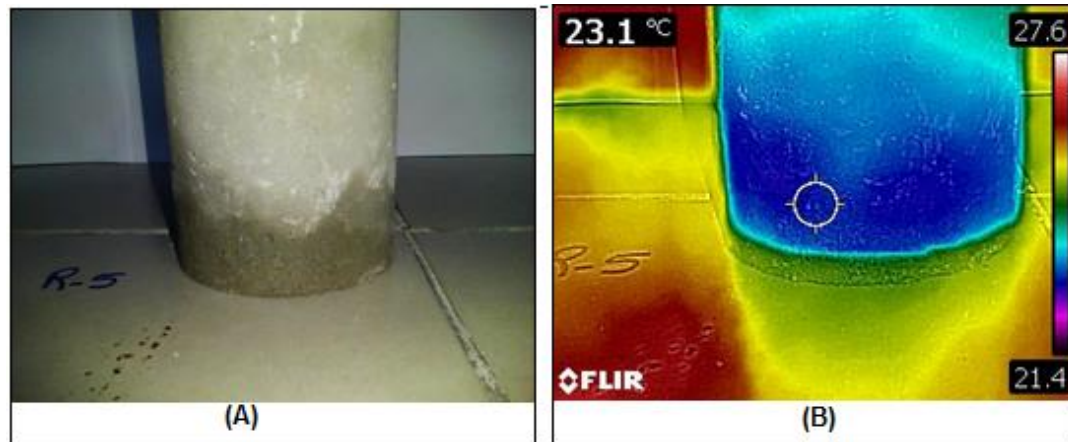


Figura 6. Imagen termográfica infrarroja para la serie referencia. A - Probeta posterior al ensayo de compresión diametral; B - Probeta durante el ensayo de termografía .

La Figura 7 presenta las probetas de las series impermeabilizadas luego del ensayo de compresión diametral. Para esas series la dificultad de obtención de las lecturas de ascenso capilar fue mayor, siendo el análisis realizado por medio de las imágenes termográficas, presentadas en las Figuras 8, 9 y 10. Se percibe que las temperaturas registradas en las imágenes termográficas son cercanas al mínimo indicado en la escala de referencia, al lado derecho de cada imagen, indicando la región de absorción de agua.

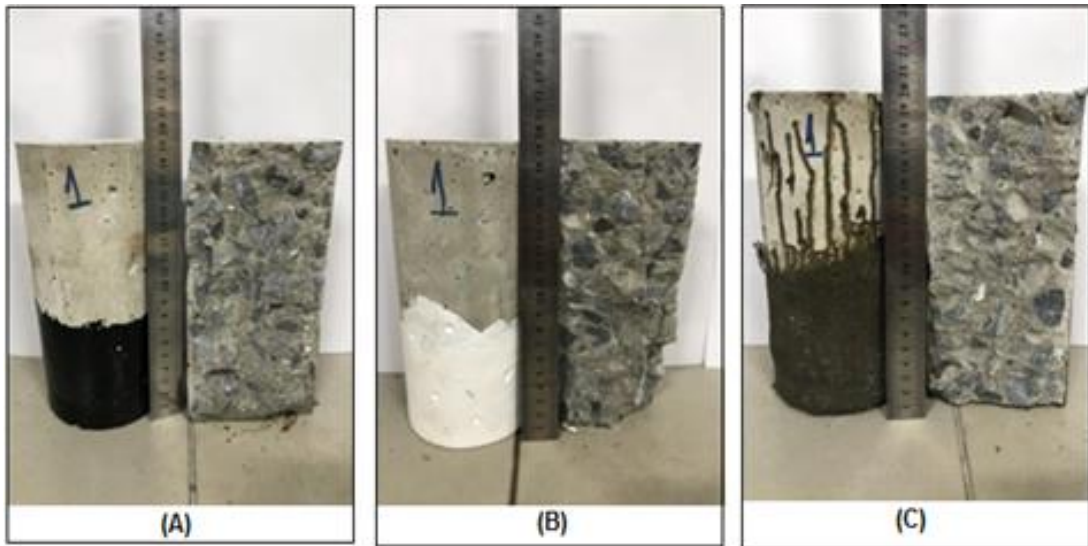


Figura 7. Probetas de las series impermeabilizadas luego del ensayo de compresión diametral. La – Muestra con emulsión asfáltica; B – Muestra con membrana acrílica; C – Muestra con resina termoplástica.

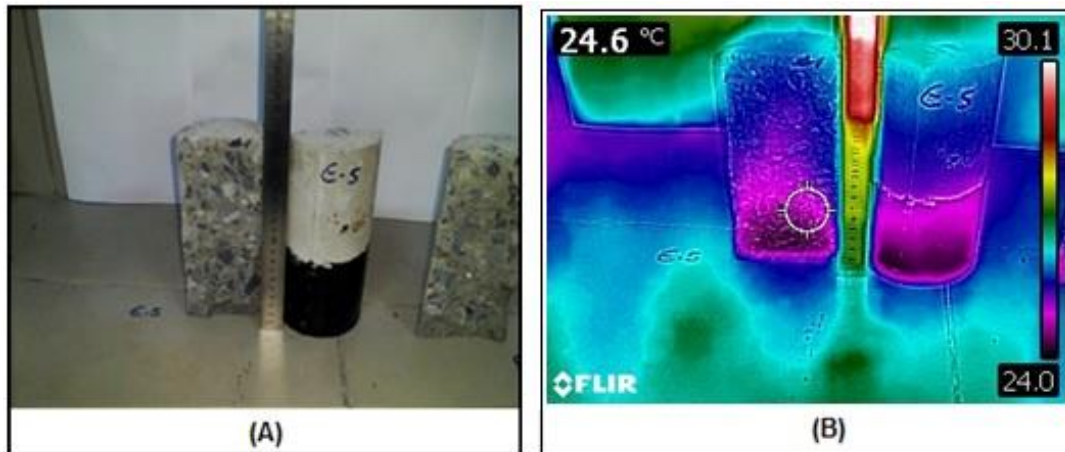


Figura 8. Imagen termográfica infrarroja para la serie con emulsión asfáltica. A - Probeta luego del ensayo de compresión diametral; B - Probeta durante el ensayo de termografía .

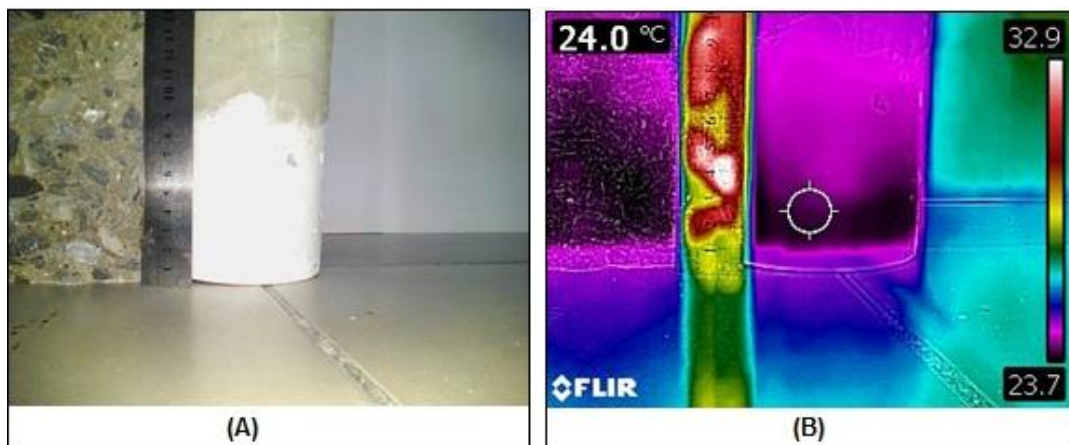


Figura 9. Imagen termográfica infrarroja para la serie con membrana acrílica. A - Probeta luego del ensayo de compresión diametral; B - Probeta durante el ensayo de termografía .

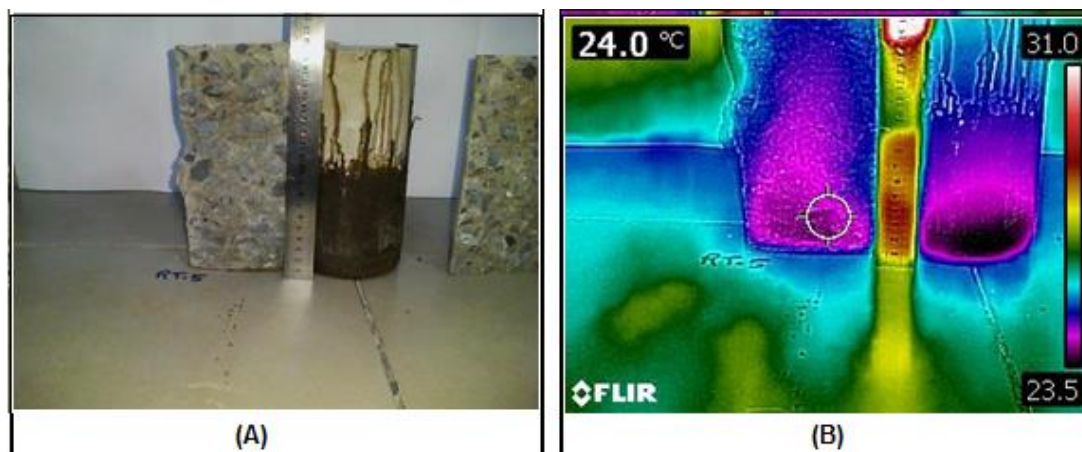


Figura 10. Imagen termográfica infrarroja para la serie con resina termoplástica. A - Probeta luego del ensayo de compresión diametral; B - Probeta durante el ensayo de termografía .

El ensayo de termografía indicó, entre las series impermeabilizadas, el mejor desempeño para la serie de emulsión asfáltica, que presentó la mayor temperatura, 24,6 °C. Las series de membrana acrílica y resina termoplástica presentaron la misma temperatura, indicando un comportamiento semejante, de 24 °C.

Además, según lo expuesto en la literatura, la variación de 1 °C a 2 °C, es considerada indicio de problemas (Cortizo, 2007; Freitas *et al.*, 2014). Siendo así, la diferencia de temperatura observada entre la serie referencia y las series impermeabilizadas ya es suficiente para indicar mejor desempeño de esta última.

Aun cuando sea pequeña la diferencia observada en la variación de la absorción, una vez que el análisis visual, en probetas ensayadas, confirmó el ascenso capilar. Con respecto a la pequeña variación, la literatura reporta que variaciones en el orden de 1°C ya son responsables de la identificación de infiltración en elementos de concreto (Maldague, 2001; Merlirinho, Matias y Farias, 2015; Lourenço, Matias y Faria, 2017; Rocha, Santos, Oliveira, Albuquerque y Póvoas, 2018).

3.4 Absorción por inmersión luego del envejecimiento acelerado

El ensayo de absorción luego del envejecimiento acelerado, presentado en la Figura 11, presentó reducción de absorción para la serie referencia a lo largo del tiempo. El resultado era esperado, una vez que la continua hidratación del cemento Portland ocasiona el taponado de los poros, disminuyendo así la permeabilidad del material (Rossignolo, 2005). Una vez que las probetas fueron sujetas al tiempo, cabe destacar la posible influencia del fenómeno de carbonatación, que puede colaborar en el relleno de los poros, por carbonato de calcio (CaCO_3), y reducción de la capacidad absorbente del material, como lo reportado por Ngala y Page (1997). Los resultados de absorción de la serie referencia fueron en el orden de 5% en la edad inicial para 3% en la edad final estudiada, confirmando el relleno de los poros.

Todas las series impermeabilizadas presentan a los 84 días absorción inferior a la presentada a los 28 días, también explicado por el secado y fijación de los productos en el período. Todavía, a partir de los 140 días fue posible notar una inversión del comportamiento, es decir, las series pasaron a presentar absorciones mayores si se compara a la edad de 28 días.

Cabe destacar que los tres impermeabilizantes aplicados, podían, según sus fabricantes, ser aplicados en locales abiertos, como losas de techo. Siendo así, por más que fuesen sometidos a ciclos de mojado y secado el desempeño no debería haber sido impactado. Según Silveira y Granato (2013), el sistema impermeabilizante debe ser capaz de soportar todos los tipos de sollicitaciones durante la vida útil, sean de naturaleza mecánica ó química. Siendo así, la elección del sistema debe siempre tomado en consideración, las sollicitaciones actuantes, de modo que el material aplicado

atienda la demanda propuesta.

Los valores obtenidos en ese ensayo además confirman el mejor desempeño de las series impermeabilizadas, siendo el promedio de absorción entre ellas, a los 196 días de 0,52%, contra 3,0% de la serie referencia. Todavía, se destaca la necesidad de observación del desempeño de estos materiales a lo largo del tiempo, visto que la ineficiencia de los mismos llevaría a una pérdida directa en la vida útil de las estructuras de concreto. Siendo la propuesta del trabajo la evaluación de la aplicación de los sistemas en losas de techo, se espera que los sistemas resistan la acción de los rayos UV, bien como la sollicitación higroscópica de mojado y secado constante.

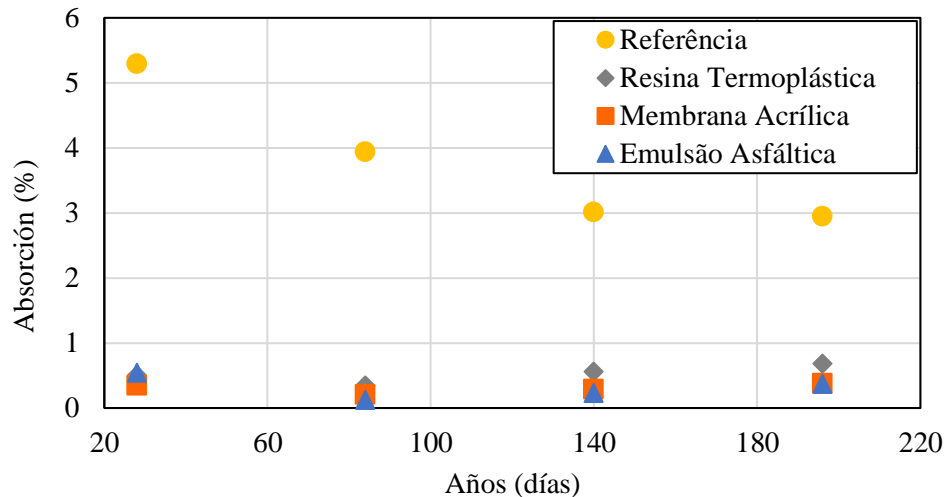


Figura 11. Resultado del ensayo de absorción por inmersión luego del envejecimiento acelerado.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio permitieron apuntar las siguientes conclusiones:

- En ensayo de estanqueidad indicó un comportamiento semejante entre todas las series estudiadas, no pudiendo ser observado, en el período indicado por la NBR 15575 (ABNT, 2013), infiltración, percolación o cualquier otro indicio de falla en las tres series observadas;
- El ensayo de absorción por inmersión más una vez indicó comportamientos semejantes entre los productos estudiados, todavía, en este caso, fue posible indicar, al final del ensayo, el mejor desempeño de la membrana acrílica, siendo la absorción del material igual a 0,35%;
- El ensayo de absorción por ascenso capilar indicó mejor desempeño para la resina termoplástica, confirmando su indicación para el uso en rodapiés;
- Las imágenes termográficas ayudaron en la visualización de la percolación del agua para el interior de las probetas, confirmando el mejor desempeño (temperaturas superiores) para las series impermeabilizadas;
- Finalmente, el envejecimiento acelerado fue sensible para indicar un cambio de comportamiento entre las series impermeabilizadas, todavía, al final del ensayo el desempeño de esas todavía es muy superior (cerca de 6 veces) a la serie referencia. Se recomienda el acompañamiento de estos materiales por un período mayor de estudio, a fin de verificar la eficiencia de los mismos y confirmar la vida útil de ellos en servicio.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las agencias brasileñas CNPq, Capes y Fundación Araucária por el apoyo financiero, a la Universidad Federal del Paraná (UFPR), al Programa de Post grado en Ingeniería de Construcción Civil (PPGECC), al Centro Universitario UNIFACEAR y la concretera NOVAMIX por toda la ayuda dada a este estudio.

6. REFERENCIAS

- Aldea, C., Shah, S. P., Karr, A. (1999) “Permeability of cracked concrete” *Materials and Structures*, 32, pp. 370–376. <https://doi.org/10.1007/BF02479629>
- Andrello, J. M., Takagi, E. (2017) “*Debate técnico: impermeabilização in loco*” Construção Mercado - Técnica, PINI.
- Associação Brasileira de normas Técnicas. (2005). *NBR 9685: Emulsão Asfáltica para Impermeabilização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de normas Técnicas. (2005). *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de normas Técnicas. (2008). *NBR 13321: Membrana acrílica para impermeabilização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de normas Técnicas. (2010). *NBR 15885: Membrana de Polímero Acrílico com ou sem Cimento para Impermeabilização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de normas Técnicas. (2012). *NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho*. Rio de Janeiro.
- Basheer, I., Kropp, J., Cleland, D. J. (2001) “Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review” *Construction and Building Materials*, 15 (2-3), pp. 93– 103. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(00\)00058-1](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(00)00058-1)
- Bauer, E., Vasconcelos, P. H. C., Granato, J. E. (2010) “Sistemas de impermeabilização e isolamento térmico” In: ISAIA, G. C. *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia dos materiais*. São Paulo: Ed. IBRACON.
- Cortizo, E. C. (2007) “Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: Ênfase em edificações de Patrimônio Histórico” 178f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica. Belo Horizonte.
- Freitas, J. G., Carasek, H., Cascudo, O. (2014) “Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura”. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 57-73. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212014000100006>
- Gao, J., Yu, Z., Song, L., Wang, T., Wei, S. (2013) “Durability of concrete exposed to sulfate attack under flexural loading and drying–wetting cycles” *Construction and Building Materials*. v. 39, pp. 33-38. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.05.033>
- Gong, J., Cao, J., Wang, Y. (2016) “Effects of sulfate attack and dry-wet circulation on creep of fly-ash slag concrete” *Construction and Building Materials*. v.125, pp.12-20. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.023>
- Jiang, L., Niu, D. (2016) “Study of deterioration of concrete exposed to different types of sulfate solutions under drying-wetting cycles” *Construction and Building Materials*. v. 117, pp. 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.094>

- Lourenço, T., Matias, L., Faria, P. (2017) “*Anomalies Detection in Adhesive Wall Tiling Systems by Infrared Thermography.*” Construction and Building Materials, v. 148, p. 419-428. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.052>
- Maldague, X. (2001) “*Infrared and Thermal Testing: nondestructive testing handbook.*” 3. ed. Columbus, OH: Patrick O. Moore.
- Melrinho, A., Matias, L., Faria, P. (2015). *Detecção de anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço através da termografia de infravermelhos.* Tech ITT by Construlink, 13(37), 29-38. https://run.unl.pt/bitstream/10362/16576/1/RI%20-%20Melrinho%20et%20al_RIT%2037_2015.pdf
- Menezes, M. (2018) “*Influência da umidade do substrato na aderência de sistema de impermeabilização com manta asfáltica aderida à maçarico*” IBI - Instituto Brasileiro de Impermeabilização, 16 p, São Paulo.
- Morgado, J. M., et al. (2018) “*Guia de aplicação da norma de desempenho para impermeabilização. Especificação, aplicação e contratação com foco no atendimento à ABNT 15575/2013*” IBI – Instituto Brasileiro de Impermeabilização, Rio de Janeiro.
- Ngala, V. T., Page, C. L. (1997) “*Effects of carbonation on pore structure and diffusional properties of hydrated cement pastes*”. Cement and Concrete Research, V. 27, n.7, pp. 995-1007. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(97\)00102-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(97)00102-6)
- Pezzolo, V. (2013) “*Conheça os tipos de impermeabilizante*” Equipe Obra Prima, PINI.
- Picchi, F. A. (1986) “*Impermeabilização de coberturas*” Editora Pini, São Paulo.
- Rocha, J. H. A., Santos, C. F. dos, Oliveira, J. B. de, Albuquerque, L. K dos S., Póvoas, Y. V. (2018) “*Detecção de infiltração em áreas inerenas de edificações com termografia infravermelha: estudo de caso*” Ambiente Construído, Porto Alegre, V. 18, n.4, pp. 329-340. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400308>
- Rossignolo, J. A. (2005) “*Avaliação da porosidade e do teor de CH de pastas de cimento Portland com Sílica Ativa e Látex SRB*” Revista Matéria, V.10, n.3, pp. 437-442. <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10654>
- Silveira, M. A., Granato, J. E. (2013) “*Diretrizes de desempenho para produtos de impermeabilização*”. 13º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização.