



**GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL,
MATERIALES Y AMBIENTE**
CIENCIA, INVESTIGACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

ACCEDA AQUÍ
A ESTOS TODOS LOS NÚMEROS





Universidad Tecnológica Nacional

Rector: Ing. Rubén SORO

Secretario de Ciencia y Tecnología: Ing. Omar DEL GENER

Secretaria Académica y Posgrado: Mg. Ing. Liliana Raquel CUENCA PLETSCH

Facultad Regional Concordia

Decano: Ing. José Jorge PENCO

Secretaria de Ciencia, Tecnología y Posgrado: Dra. Natalia TESÓN

Secretario Académico: Ing. Fabián Andrés AVID

GIICMA

Director: Prof. Jorge Daniel SOTA

DIRECCIÓN DE LA REVISTA: Salta 277 - Concordia, Entre Ríos, República Argentina

Director: Prof. Jorge D. Sota

Secretario General: Ing. Exequiel H. N. Caseres

Secretaria Académica: Ing. Luis P. Traversa

Comité Académico: Ing. Fabián A. Avid, Arq. María A. Bruno, Ing. Alejandro C. García, Ing. Gustavo Larenze, Ing. Oscar D. Rico, Ing. Darío O. Vercesi, Dra. Natalia Teson, Ing. Rosana Marcossi, Ing. Carlos Blanc, Dra. Eugenia Garat, Ing. Carlos Pasquet, Ing. Juan José Jaunarena, Arq. Ángela Barrios Padula.

Los artículos son publicados con la sola responsabilidad de los autores. La Dirección no se solidariza con las opiniones vertidas en los mismos. Los artículos pueden reproducirse total o parcialmente citando la fuente. Registro Nacional de la Propiedad Intelectual N° 249.362

Imagen de tapa: Iglesia Nuestra Señora de la Concepción de Alfafala (Brasil). Fuente: Congreso de Patrimonio Histórico "LA MULTIDISCIPLINA EN LAS METODOLOGÍAS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO".

Sumario

Ajuste de un método de curado acelerado para Hormigones elaborados con cementos Portland CPC40 y áridos de la zona de Concepción del Uruguay.

M. I. Schierloh, H. R. Retamal, J. D. Sota (UTN FRCU - GIICMA)

XVII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de las Construcciones - 3 a 5 de junio de 2021 - Fortaleza, Brasil.

06

Aspectos históricos y estado de conservación de la Iglesia de Nuestra Señora de la Concepción de Almofala (Brasil).

F. Carvalho de Arruda Coelho, L. M. de Souza Monteiro, E. Mesquita (UNEVA - UFC CR)

Congreso de Patrimonio Histórico "LA MULTIDISCIPLINA EN LAS METODOLOGÍAS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO" - 5 y 6 de agosto de 2021 - Concordia, Entre Ríos, Argentina.

14

Análise da propagação de ondas ultrassônicas em painéis de alvenaria argamassados com presença de manifestações patológicas.

E. Araújo, I. Sousa, E. Mesquita (LAREB - UFC CR)

Congreso de Patrimonio Histórico "LA MULTIDISCIPLINA EN LAS METODOLOGÍAS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO" - 5 y 6 de agosto de 2021 - Concordia, Entre Ríos, Argentina.

23



Grupo de Investigación en Ingeniería Civil, Materiales y Ambiente

El **GRUPO GIICMA** fue reconocido el 26 de agosto de 2010 como Grupo UTN mediante Resolución N°794 del Consejo Superior de la Universidad Tecnológica Nacional.

Desde sus orígenes como Grupo de Investigación de la Facultad Regional Concordia, las actividades estuvieron focalizadas en aspectos vinculados con la durabilidad del hormigón, contando para su desarrollo con la infraestructura del Laboratorio de Tecnología del Hormigón de la mencionada Institución.

En este contexto, las líneas de investigación donde inicialmente se ha desarrollado la mayor capacitación es la caracterización de los agregados pétreos regionales para la elaboración de hormigones. Los materiales comprenden, tanto los agregados aluvionales constituidos por gravas y arenas de las cuencas de los ríos Paraná, Uruguay y Gualaguay como los triturados basálticos de las provincias mesopotámicas.

El equipamiento actualizado y la precisión interlaboratorio lograda han permitido a este Laboratorio posicionarse como centro regional de consulta para la realización de los ensayos de reactividad álcali-agregado mediante el método acelerado de la barra de mortero, Norma IRAM N° 1674. El equipamiento adquirido y el continuo entrenamiento del personal y becarios del laboratorio permitieron incorporar las metodologías de ensayo correspondientes a la variante Australiana RTA363 del ensayo acelerado de la barra de mortero y el ensayo del prisma de hormigón correspondiente al procedimiento RILEM TC 191-ARP-03, incorporado como anexo de la Norma IRAM 1700.

A los fines de verificar el desempeño del Laboratorio de Tecnología del Hormigón de la Facultad Regional Concordia, se efectuaron estudios interlaboratorio conjuntamente con el LEMIT, ICPA y el INTI, con el objetivo principal de asegurar la calidad de los resultados obtenidos. Como objetivo secundario de esta metodología se logró ajustar los protocolos de operación, manejo, registro y análisis de muestras con un interés futuro en la acreditación del ensayo acelerado de la barra de mortero Norma IRAM 1674, estando en este momento con el ejercicio de la documentación.

Por otra parte, se han ampliado los estudios de hormigones reciclados elaborados con canto rodado y basalto, para evaluar su aprovechamiento y establecer relaciones con la corrosión de armaduras y la durabilidad frente a la RAS contando en este momento con metodología y resultados como para usar estos hormigones reciclados como agregados en pavimentos.

En los últimos años, se iniciaron trabajos en líneas de investigación para el desarrollo de equipamientos de madurez en el hormigón para determinar su resistencia y medida de la presión de las expansiones dentro del hormigón. El objetivo principal de los proyectos desarrollados y en curso, abarcan determinar su reactividad potencial álcali-sílice, medir la madurez del hormigón, medir la presión interna de expansión de los hormigones por reacciones químicas o físicas en su masa.

Se han ampliado los estudios en el último año en las áreas de Hidrología, Geología Aplicada y Suelos, contando con la infraestructura del Laboratorio de Geotecnia de la Facultad. En el caso particular de suelos, se han sumado estudios de suelos viales modificados para su caracterización.

En el área de estructuras, se realizaron algunas experiencias trabajando en temas específicos como el punzonado de placas con la transferencia académica del tema, y el uso de fibras sintéticas en el desarrollo de piezas premoldeadas.

Se consolidó en el grupo el área de Química Analítica, con el laboratorio de análisis de agua para uso en hormigones y determinación de cal útil vial en la corrección de suelos viales.

Con el Proyecto "Análisis de la infiltración de agua de lluvia en hormigones porosos" para el control en origen de inundaciones el grupo de Hidráulica integra una nueva área en el grupo GIICMA.

Se incorporaron como Áreas del GIICMA el grupo de Tránsito y Transporte de la Facultad y el grupo de las Cátedras Tecnología de los Materiales y Vías de Comunicación, Áreas Tránsito y Transporte y Área Materiales Asfálticos.

En el caso del Área Tránsito y Transporte participó con un trabajo original internacional y se incorporó al Organismo Universitario Latinoamericano.

El área de Patrimonio del GIICMA, desarrolló actividades relacionadas con los convenios con la Municipalidad de

Concordia: 1) Circuito Turístico que incluya Patrimonio Histórico y Cultural, 2) Relevamiento catastral a editar en cuadernos de difusión, lo que hizo posible la participación en Congresos Internacionales y la publicación de dos catálogos de patrimonio: uno de Patrimonio Moderno y el otro de Patrimonio Histórico de Concordia.

Con la presentación del trabajo "Alkali-aggregate reaction in recycled concrete with aggregates qualified as reactivos by the ASTM C 1260 method" en el Congreso ICCAR 2017 en San Paulo, el GIICMA se colocó como referente nacional del estudio de la reacción álcali sílice.

En el año 2016 se consolidó la publicación de la Revista on-line del grupo GIICMA: CITI (Grupo Investigación Ingeniería Civil, Materiales y Ambiente; Ciencia, Investigación, Tecnología e Innovación) conteniendo los trabajos de investigación del grupo publicado en los congresos internacionales en los que participaron sus integrantes, aguarda ya el número quince, estando completo en su contenido.

El nombre de la Revista se ve consolidado por las actividades del grupo en su interdisciplina y en lo producido, que se manifiesta por el tipo y contenido de los trabajos publicados.

El avance nos obliga a mayor compromiso sabiendo que contamos con el apoyo de la Gestión del Rectorado y de la Facultad Regional como así también de organismos Nacionales con los que mantenemos convenios muy fructíferos y los locales que siempre estuvieron presentes.

Prof. Jorge Daniel Sota

DIRECTOR

Ajuste de un método de curado acelerado para Hormigones elaborados con cementos Portland CPC40 y áridos de la zona de Concepción del Uruguay

Adjustment of an accelerated curing method, for concrete made with Portland CPC40 cement and aggregates from the Concepcion of Uruguay area

María Inés SCHIERLOH¹, Héctor Ricardo RETAMAL², Jorge Daniel SOTA³

(¹) Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina
schierlm@frcu.utn.edu.ar

(²) Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina
retamalr@frcu.utn.edu.ar

(³) Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concordia, Grupo GHICMA, Entre Ríos, Argentina
jdsota@gmail.com

Resumen

En este trabajo, se presentan los resultados obtenidos en la primer etapa del proyecto actualmente en desarrollo denominado "Predicción de la resistencia del hormigón a los 28 días usando un método acelerado para hormigones con cementos CPC 40, CPF 40 y áridos de la zona", el cual se enfocó inicialmente, en la obtención de un método propio de la aceleración del curado de probetas de hormigón usando agua en ebullición, para luego ser aplicado en las etapas siguientes del desarrollo de dicho proyecto.

Esta metodología de curado, si bien ha sido contemplada en diferentes normativas como lo son la IRAM 1552 y ASTM C684:73, entre otras, en todas ellas los estudios realizados para obtener los procedimientos se llevaron a cabo con hormigones elaborados usando cementos que no se encuentran en el mercado actualmente en el país. Vale decir se presenta aquí el procedimiento desarrollado que permitió determinar el menor tiempo al que se alcanzó una proyección de la resistencia a los 28 días aceptable, para este caso, se trabajó con hormigones tipo H15 elaborados con CPC40.

Se comprobó que modificando levemente los tiempos de desmolde, enfriado y del período de hervido de las probetas, totalizando un tiempo completo entre hormigonado y ensayo de 24 horas, bajando sensiblemente el tiempo adoptado en la norma IRAM 1552 de 28 1/2 horas, fue el método que mejor ajustó.

Se realizaron 8 series de probetas y se verificó que la dispersión no superó el 15%, adoptándose este sistema como método propio o método para desarrollar el proyecto antes citado.

Palabras clave: Resistencia a compresión simple, Curado del hormigón, Proyección de resistencia, Curado acelerado del hormigón.

Abstract

In this work, the results obtained in the first stage of the project currently under development called "Prediction of concrete strength at 28 days using an accelerated method for concrete with cements CPC 40, CPF 40 and aggregates from the area are presented.", which initially focused on obtaining an own method of accelerating the curing of concrete specimens using boiling water, to later be applied in the following stages of the development of said project.

This curing methodology, although it has been contemplated in different regulations such as IRAM 1552 and ASTM C684:73, among others, in all of them the studies carried out to obtain the procedures were carried out with concrete made using cements that are not currently on the market in the country.

That is to say, the developed procedure is presented here, which allowed determining the shortest time at which an acceptable resistance projection was reached at 28 days. In this case, H15-type concrete made with CPC40 was used.

It was found that slightly modifying the demoulding, cooling and boiling times of the specimens, totaling a complete time between concreting and testing of 24 hours, significantly lowering the time adopted in the IRAM 1552 standard of 28 1/2 hours, was the method that best fit.

8 series of specimens were made and it was verified that the dispersion did not exceed 15%. This system was adopted as its own method or method to develop the aforementioned project.

Keywords: Resistance to simple compression, Concrete curing, Resistance projection, Accelerated concrete curing.

Introducción

La necesidad de proyectar, a partir de edades tempranas, la resistencia característica o especificada del hormigón a los 28 días, es un problema permanente de los Ingenieros y técnicos de la construcción, sobre todo en obras de gran envergadura, donde predecir dicha resistencia es fundamental para seguir avanzando con los trabajos.

Los métodos para predecir la resistencia característica o especificada se dividen en dos grupos:

1-Metodo natural.

2-Metodos acelerados.

Este trabajo se centró en el estudio de los Métodos acelerados, ya que al igual que otros autores –Cano Olazábal et al.(1976)-, se concluyó, en el desarrollo del trabajo precedente denominado “Evolución de la resistencia del hormigón en el tiempo usando cementos CPC 40 y CPF 40 con áridos de la zona” –Schierloh et al. (2018)-, que los valores de resistencia obtenidos en ensayos realizados sobre probetas a edades menores de 7 días, curadas con procedimiento natural normalizado, son difícilmente relacionables con los obtenidos a 28 días, debido a la gran dispersión que se produce.

La norma que rige este tipo de ensayos en nuestro país, es la IRAM 1552 de septiembre de 1993 –IRAM1552(1993)-, que ha quedado desactualizada debido al cambio en la composición química de los cementos actuales.

Estos métodos acelerados, al suministrar calor al hormigón, producen a las pocas horas un aumento de la resistencia respecto del método natural y una menor dispersión a igual tiempo de ensayo.

Lo cual puede deberse a varios factores que se están estudiando, asociados fundamentalmente al aumento de la cinética de las reacciones por acción de la energía calórica adicionada, que resulta en reacciones más uniformes y seguramente mejor correlacionadas por menores intervalos entre las mismas.

A finales de los años 50, se comenzó a estudiar científicamente la predicción de la resistencia del hormigón a los 28 días, partiendo de ensayos a las pocas horas de hormigonado usando métodos acelerados. Estos métodos acelerados se realizaron desde edades que varían de 3 horas luego de producirse el hormigonado, hasta 72 horas después del mismo. Se efectuaron con el hormigón en los moldes o desmoldados y usando agua a diversas temperaturas (35 grados, 60 grados), incluyendo agua en ebullición y vapor de agua.

En la Argentina en los años 70, en los laboratorios LEMIT, realizaron estudios tomando como base los pronósticos de resistencia por métodos acelerados efectuados por distintos investigadores y laboratorios, y considerando la necesidad de contar con un método práctico capaz de obtener resultados con una variación razonable, optaron por el sistema de usar agua en ebullición, luego del desmoldado a las 23 horas. –Cano Olazábal et al.(1976)-. Dicho método, muy práctico y fácilmente reproducible en obra, permitió obtener valores de resistencia a la edad 28 horas y treinta minutos, los cuales pudieron ser relacionados gráfica y/o analíticamente con los valores de resistencia a compresión del hormigón a los 28 días.

La mayoría de los países, tienen normas específicas respecto de métodos acelerados. Los Estados Unidos la ASTM C684 (2003), Perú la NTP 339.213 (2007), entre otros.

Por otra parte, es sabido que en algunos procedimientos utilizados para acelerar el curado son necesarios equipos sofisticados, sin embargo, se pueden aplicar procedimientos para los cuales se utilizan elementos sencillos y replicables no solo en laboratorio, sino también a pie de obra.

Los estudios sobre métodos de curado acelerados para el hormigón que se han desarrollado hasta el momento en Argentina, fueron realizados para hormigones elaborados con cemento portland normal, muy diferentes a los que actualmente se fabrican en el país.

Partiendo de la revisión realizada, se desarrolló en la primera etapa del proyecto, un análisis que consistió en encontrar y ajustar un método propio para el curado acelerado, fácil de reproducir no solo en laboratorios, sino también en campo a pie de obra, que permitió determinar el menor tiempo al que se alcanza una proyección de resistencia a los 28 días aceptable (con dispersiones menores o iguales al 15%, siguiendo las disposiciones del reglamento CIRSOC201 (2005).

Metodología

Ante el desconocimiento del mecanismo de curado, ensayo y resultado probables del método de agua en ebullición por la falta de experiencia previa, lo primero que se realizó fue aplicar la norma IRAM 1552 y los coeficientes encontrados por el LEMIT en sus investigaciones.

La norma IRAM 1552, establece tres tipos de métodos acelerados. El que se adoptó para emplear fue el Método B del agua hirviendo, el cual tiene un tiempo de colocación de las probetas en agua hirviendo pasadas las 23 hs +/- 15 minutos. El tiempo del curado acelerado es de 3,5 hs +/- 5 minutos y un enfriado mínimo de 1 hora, totalizando un tiempo de 28 1/2 hs +/- 15 minutos para realizar el ensayo.

El método empleado por el LEMIT, es similar en cuanto a tiempos, al presentado en la IRAM 1552, que a su vez se ajusta al de la norma ASTM C648(1973), pero con algunas variantes mínimas introducidas por los investigadores. El tiempo de curado acelerado se mantiene en 3,5 horas +/- 15 minutos y el tiempo total para la realización del ensayo es de 28 ½ hs +/- 15 minutos.

Para ello, se utilizó un equipamiento sencillo (olla y hornalla portátil a gas), y que permitió sumergir las probetas de hormigón en agua en ebullición durante el tiempo que determina el método. Así como también equipamiento de laboratorio (prensa hidráulica, moldes metálicos para probetas, balanzas electrónicas, etc), que posibilitaron la ejecución de los ensayos correspondientes.

El proceso se inició con la elaboración de un pastón de hormigón y se lo colocó en moldes normalizados según norma IRAM 1524(2004). Luego de transcurridas las horas prefijadas se desmolda y se lo coloca en agua en ebullición por el tiempo necesario para ajustar la dispersión de los resultados. Se produce el enfriado de las probetas hasta un tiempo y temperatura a determinar y se las en-

Áridos	IRAM	Densidad relativa gr/cm ³	Absorción de agua %	IRAM 1505		MF de la Mezcla
				Tamaño Máximo mm	Módulo de Finura	
Arena fina del río Uruguay	1520	2,5	0,7		1,53	5,25
Canto Rodado de arroyo Molino	1433	2,56	1,5	19		

Cuadro 1. Características de los áridos utilizados.

saya a compresión simple.

El valor obtenido se relaciona con el valor alcanzado con las probetas ensayadas a 28 días curadas de manera normal en cámara húmeda.

Para el trabajo que aquí se presenta, el objetivo central fue ajustar la metodología (tiempo de desmolde, tiempo de hervido y tiempo de enfriamiento necesario de las probetas), a fin de obtener un "método propio", de tal manera de alcanzar una predicción de la resistencia a los 28 días aceptable, en el menor tiempo posible.

Para ello se procedió de la siguiente manera:

Inicialmente se caracterizaron los materiales a usar, los resultados se muestran en el Cuadro 1, luego se efectuó el cálculo racional del hormigón, que sirvió como testigo para determinar el tiempo de desmolde límite, las horas necesarias de cocción de las probetas y el tiempo mínimo de enfriado de las probetas.

Se dosificó un hormigón de tensión característica especificada real H15, relación agua material cementicio 0,5, asentamiento 8 cm, utilizando cemento CPC 40 y áridos de la zona (Cuadro 2).

Como no se tenía experiencia previa, se optó por iniciar aplicando la metodología indicada en la norma IRAM 1552. Para lo cual se desmoldaron las probetas a las 23 horas, se las colocó en agua hirviendo durante 3,5 horas, se las dejó enfriar a temperatura ambiente durante dos (2) horas y a continuación se las ensayo a compresión simple, completando un total de 28½hs.

sión simple, completando un total de 28½hs.

Dosificación H15		
Material	Volúmen	Peso Kg/m ³
Cemento	0,097	300
Agua	0,150	150
Canto Rodado	0,415	1050
Arena	0,338	896
Total	1	2395,7
Relación A/C	0,5	

Cuadro 2. Diseño racional de mezcla de hormigón H15 por metro cúbico.

Se realizaron 8 series de cuatro probetas cada una. De cada serie ensayada, dos probetas se utilizaron para ser colocarlas en agua en ebullición y posteriormente ensayadas. Las otras dos se dejaron en cámara húmeda con curado normal y ensayadas a los 28 días.

Realizados los ensayos de las ocho series, se determinó la tensión característica o especificada a las 28½ horas y a los 28 días, estableciéndose la relación Tt/T28 días (tensión característica o especificada a la hora de cocción respecto de la tensión característica o especificada a los 28 días), los resultados se muestran en el Cuadro 3 y con las ocho series se determinaron los valores finales que se muestran en el Cuadro 4.

Serie	Probetas N°	Días de rotura	Asentamiento (Cm)	Carga rotura (1) (tn)	Carga rotura (2) (tn)	Rotura compresion (1) mpa	Rotura compresion (2) mpa	Diferencia (1) (%)	Diferencia (2) (%)	Carga rotura (tn)	Rotura compresion MPa	Coefficiente "R" r = $\frac{\sigma_{1\text{día}}}{\sigma_{28\text{días}}}$
I	1	1	8	12,13	12,36	6,74	6,86	-0,94	0,94	12,25	6,80	0,385973207
	2	28		31,81	31,64	17,66	17,57	0,27	-0,27	31,73	17,62	
II	1	1	7,5	12,4	13,41	6,89	7,45	-3,91	3,91	12,91	7,17	0,390055917
	2	28		32,51	33,66	18,05	18,69	-1,74	1,74	33,09	18,37	
III	1	1	8	11,15	11,73	6,19	6,51	-2,53	2,53	11,44	6,35	0,401544402
	2	28		27,66	29,32	15,36	16,28	-2,91	2,91	28,49	15,82	
IV	1	1	7,5	10,9	11,58	6,05	6,43	-3,02	3,02	11,24	6,24	0,381210785
	2	28		28,16	30,81	15,64	17,11	-4,49	4,49	29,49	16,37	
V	1	1	8	11,24	10,95	6,24	6,08	1,31	-1,31	11,10	6,16	0,387665968
	2	28		26,33	30,91	14,62	17,16	-8,00	8,00	28,62	15,89	
VI	1	1	8	11,09	11,28	6,16	6,26	-0,85	0,85	11,19	6,21	0,362560778
	2	28		31,29	30,41	17,37	16,89	1,43	-1,43	30,85	17,13	
VII	1	1	8	10,67	11,36	5,92	6,31	-3,13	3,13	11,02	6,12	0,407434807
	2	28		26,77	27,3	14,86	15,16	-0,98	0,98	27,04	15,01	
VIII	1	1	7,5	10,69	10,55	5,94	5,86	0,66	-0,66	10,62	5,90	0,379150303
	2	28		28,41	27,61	15,77	15,33	1,43	-1,43	28,01	15,55	

Cuadro 3. Resultados de los ensayos acelerados de resistencia del Hormigón H15 con CPC40, desmoldado a las 23hs, curado acelerado 3,5hs, enfriamiento y rotura a las 28½hs.

DIAS DE ROTURA	TENSION MEDIA Mpa	DESVIACION ESTÁNDAR	FACTOR K (para n-1)	TENSION CARACTERISTICA Mpa	PORCENTAJE DE RESISTENCIA CARACTERISTICA RESPECTO DE RESISTENCIA A 28 DIAS	COEFICIENTE "R" $r = \frac{\sigma_{1\text{dia}}}{\sigma_{28\text{dias}}}$
1	6,37	0,41	1,42	5,78	38,93	0,3893
28	16,47	1,14	1,42	14,85	100,01	

Cuadro 4. Valores finales obtenidos al aplicar la metodología de la IRAM 1552.

SERIE	ROTURA COMPRESION	$\sigma_{28\text{dias}}$ proyectado	DIFERENCIA σ_{28} proyectado- σ_{28}	DIFERENCIA EN PORCENTAJE
I	6,8	17,47	-0,15	-0,87
	17,62			
II	7,17	18,42	0,05	0,26
	18,37			
III	6,35	16,31	0,49	3,01
	15,82			
IV	6,24	16,03	-0,34	-2,13
	16,37			
V	6,16	15,82	-0,07	-0,42
	15,89			
VI	6,21	15,95	-1,18	-7,39
	17,13			
VII	6,12	15,72	0,71	4,52
	15,01			
VIII	5,9	15,16	-0,39	-2,60
	15,55			

Cuadro 5. Desviación Individual para las ocho series.

A continuación, se realizó un análisis estadístico, partiendo del coeficiente $R = 0,3893$, resultante para las ocho series ensayadas. Se analizaron las series individualmente, comparando los resultados de los ensayos y los resultados aplicando el coeficiente "R" hallado, se observaron las desviaciones individuales que se producen, las que se presentan en el cuadro 5.

Los valores negativos, indican que los valores de ensayo, son mayores a los valores teóricos y viceversa.

Del análisis de los porcentajes de desviación, se observó que individualmente las desviaciones resultaron todas debajo del 15%, siendo la máxima desviación un 7,39%.

Seguidamente el análisis se realizó considerando ensayos individuales y comparando con los índices de las ocho series.

Este estudio, sirvió solo a los fines teóricos, pero no se ajusta a los requerimientos de la normativa vigente, ya que consideran requisito mínimo de tres valores individuales para determinar las tensiones características.

Para completar el análisis, se plantearon las desviaciones que podrían haber ocurrido y se calcularon las combinaciones de las 8 series tomadas de a 3. Esto indicó que una

de estas 56 combinaciones posibles es la que determinó el mayor desvío posible.

La posibilidad de que ello ocurra, resultó ser del 1,78%, vale decir se tiene entonces el 1,78% de probabilidades de que ocurra dicho evento.

Se realizaron las combinaciones y se tabularon. Los valores máximos y mínimos de las desviaciones obtenidas de las 56 combinaciones, se muestran en el cuadro 6.

MAXIMOS Y MINIMOS	
SERIES 1,2,6	-10,71
SERIES 3,4,7	10,35

Cuadro 6. Desviaciones máximas para tres series al azar.

Se observó que las desviaciones encontradas, en el escenario más desfavorable posible de tres series al azar no superó el 15%, valor máximo previsto por el reglamento CIRSOC 201:05.

Por otra parte, se comprobó que, al aumentar el número de series para realizar las combinaciones posibles, las desviaciones disminuían. Comprobándose, de esta manera la hipótesis planteada, respecto a que la situación

DIAS DE ROTURA	TENSION MEDIA Mpa	DESVIACION ESTÁNDAR	FACTOR K (para n-1)	TENSION CARACTERISTICA Mpa	PORCENTAJE DE RESISTENCIA CARACTERISTICA RESPECTO DE RESISTENCIA A 28 DIAS	COEFICIENTE "R" $r = \frac{\sigma_{1\text{dia}}}{\sigma_{28\text{dias}}}$
1	6,75	0,31	1,42	6,31	38,14	0,3881
28	17,03	0,54	1,42	16,26	98,26	

Cuadro 7. Valores finales para tres horas de hervido.

SERIE	ROTURA COMPRESION	$\sigma_{28\text{días}}$ proyectado	DIFERENCIA σ_{28} proyectado- σ_{28}	DIFERENCIA EN PORCENTAJE
I	6,74	17,56	0,61	3,46
	16,95			
II	7,03	18,31	0,89	4,87
	17,42			
III	6,72	17,50	0,11	0,65
	17,39			
IV	6,61	17,22	1,30	7,54
	15,92			
V	6,21	16,18	-0,82	-5,09
	17			
VI	7,19	18,73	1,96	10,46
	16,77			
VII	6,55	17,06	0,00	0,01
	17,06			
VIII	6,95	18,10	0,39	2,17
	17,71			

Cuadro 8. Desviaciones individuales para las series con tres horas de hervido.

más desfavorable se daría al tomar las series de a tres.

A fin de comprobar el efecto de reducir las horas de cocción de las probetas, se llevó a cabo el mismo análisis con otras ocho series, pero colocándolas en agua hirviendo solo por tres (3) horas. Completando un tiempo final de ensayo de 28 horas. Los valores finales se observan en los cuadros 7, 8 y 9.

MAXIMOS Y MINIMOS	
SERIES 5,6,7	-13,5
SERIES 1,3,4	10,27

Cuadro 9. Desviaciones máximas y mínimas para tres series al azar, en el caso de tres horas de hervido.

En esta oportunidad se comprobó que no era muy marcada la diferencia de dispersiones respecto de la cocción durante 3 1/2 horas y las dispersiones obtenidas estuvieron dentro del margen del 15%.

Observando que, al disminuir media hora la cocción, se producía una mayor dispersión y el tiempo disminuido fue de solo media hora, se optó, entonces, por reducir lo más posible el horario de desmolde y enfriado y no disminuir más el horario de cocción.

El desmolde se lo llevo a 20 horas. La colocación de las probetas en agua en ebullición se realizó a las 20½ horas durante un período de 3 horas y el enfriamiento se lo llevó al mínimo posible de media hora, totalizando un

tiempo completo entre elaboración del hormigón y el ensayo a compresión simple de 24 horas, bajando sensiblemente el tiempo adoptado en la norma IRAM 1552 de 28 1/2 horas.

Se realizaron nuevamente otras ocho series de probetas, se siguieron los mismos procedimientos y los resultados se resumen en los cuadros 10, 11 y 12 que se muestran a continuación.

Se verificó que la dispersión resultó menor del 15% considerándose el límite que mejor ajustó, adoptándose este sistema como **método propio**.

Posteriormente se repitieron los ensayos bajando el horario de cocción, llevándolo a dos horas, con lo cual el tiempo de ensayo acelerado se llevó a 23 horas.

Se realizaron otras ocho series de probetas, repitiendo los análisis y se comprobó que la dispersión sobrepasaba el límite del 15%. Lo cual demostró que el método ensayado para un total de 24hs, era el límite al que se podía llegar.

Para completar el estudio, se elaboraron ocho series más con desmolde a las 23 horas y ensayo a las 24 horas, pero sin colocar las probetas en agua en ebullición y se corroboró, una vez más, la gran dispersión que se obtiene entre los resultados, por lo cual resultaría inaplicable.

Con estos últimos ensayos se confirmaron los resultados y conclusiones a las que se llegó con los estudios realiza-

DIAS DE ROTURA	TENSION MEDIA Mpa	DESVIACION ESTÁNDAR	FACTOR K (para n-1)	TENSION CARACTERISTICA Mpa	PORCENTAJE DE RESISTENCIA CARACTERISTICA RESPECTO DE RESISTENCIA A 28 DIAS	COEFICIENTE "R" r = $\sigma_{1\text{día}}/\sigma_{28\text{días}}$
1	6,24	0,26	1,42	5,87	39,52	0,3905
28	16,04	0,72	1,42	15,03	101,20	

Cuadro 10. Valores finales obtenidos para el método propio.

SERIE	ROTURA COMPRESION	$\sigma_{28\text{días}}$ proyectado	DIFERENCIA σ_{28} proyectado- σ_{28}	DIFERENCIA EN PORCENTAJE
I	6,44	16,72	1,67	9,98
	15,05			
II	6,69	17,37	1,96	11,27
	15,41			
III	6,45	16,74	-0,02	-0,09
	16,76			
IV	6,22	16,15	0,89	5,50
	15,26			
V	5,86	15,21	-1,35	-8,86
	16,56			
VI	6,05	15,71	-0,69	-4,42
	16,4			
VII	6,03	15,65	-0,39	-2,46
	16,04			
VIII	5,93	15,39	-1,48	-9,58
	16,87			

Cuadro 11. Desviaciones individuales con tres horas de hervido, en el método propio.

dos en el proyecto anterior –Schierloh et al. (2018)- respecto del método natural.

Se confirmó una vez más que a medida que se baja la edad de ensayo de las probetas curadas con el método normal y se lo relaciona con los ensayos a los 28 días, las dispersiones van en aumento. Con estos nuevos estudios, se corroboró que, para edades menores a tres días, la dispersión resultante aumenta.

El total de probetas ensayadas para esta primera etapa, fue de 160, repartidas en ocho series de cuatro probetas cada una.

MAXIMOS Y MINIMOS	
SERIES 3,5,8	-13,00
SERIES 1,2,3	12,43

Cuadro 12. Desviaciones máximas para tres series al azar para un cocido de tres horas, en el método propio.

Conclusiones

Observando los resultados de los cinco procedimientos ensayados, los que se resumen en el cuadro 13, se pudieron obtener las conclusiones que se describen a continuación.

- El método de la norma IRAM 1552 – LEMIT, fue el que dio las menores desviaciones, pero el tiempo de ensayo fue cuatro horas y media mayor al método propio encontrado.
- El método modificado IRAM 1552 – LEMIT con tres horas de cocción, dio desviaciones mayores al método original y no baja mucho el tiempo de ensayo, apenas media hora.
- El método propio, dio desviaciones mayores al método IRAM 1552 – LEMIT, pero dentro del límite aceptable y a su vez disminuyó mucho el tiempo de ensayo, cuatro horas y media.
- El método propio con cocción de solo dos horas, dio desviaciones mayores a lo permitido disminuyendo muy poco el tiempo de ensayo, apenas una hora.
- El método sin cocción, dio desviaciones muy elevadas, lo que confirma los resultados obtenidos en el trabajo anteriormente desarrollado Schierloh et al.(2018), respecto a la imposibilidad de ensayar probetas, sin acelerar el proceso de curado, en edades menores a siete días para proyectar la resistencia a los 28 días.

ORDEN	METODO	TENSION CARACTERISTICA ACELERADA [MPa]	TENSION CARACTERISTICA 28 DIAS [MPa]	COEFICIENTE "R" $r =$ $\sigma_{1\text{día}}/\sigma_{28\text{días}}$	DESCIACIONES GRUPALES MAXIMAS [%]
1	IRAM 1552:03 - LEMIT	5,78	14,85	0,3893	-10,71/+10,35
2	IRAM 1552 –LEMIT CON COCCIÓN DE 3HS.	6,31	16,16	0,3881	-13,15/+10,27
3	MÉTDO PROPIO	5,87	15,03	0,3903	-13,00/+12,43
4	METODO PROPIO CON 2 HS DE COCCIÓN	4,06	13,46	0,302	-21,09/+17,73
5	SIN COCCIÓN. ROTURA 24HS	3,41	15,18	0,2246	-39,43/+21,08

Cuadro 13. Resumen numérico de los cinco métodos ensayados.

En base a este análisis, se concluyó que el método propio sería el adecuado. Si bien es un método con dispersión mayores que el desarrollado en la norma IRAM 1552, los resultados dieron valores que se encuadran dentro de límites razonables, logrando una disminución de cuatro horas y media de tiempo en la aplicación completa del método.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer en primer lugar a las autoridades de la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional, por su apoyo sin el cual no se hubiese podido desarrollar esta investigación. Al grupo de trabajo, especialmente a los estudiantes Lautaro Alza y Fernando Tauber por su compromiso y alto desempeño.

Referencias Bibliográficas

1. ASTM C684 (2003). Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens. EEUU.
2. Cano Olazábal, W., Traversa, L.P, Giussi, J.H. (1976). Predicción de la resistencia del cemento Portland por el método del curado acelerado, Anales del LE-MIT, La Plata, Argentina.
3. CIRSOC 201 (2005). Reglamento argentino de estructuras de hormigón. Centro de investigación de los reglamentos nacionales de seguridad para las obras civiles, Argentina.
4. IRAM1552(1993). Hormigón de cemento Portland, ensayo acelerado de la resistencia a la compresión. Argentina.
5. IRAM 1524:04 Hormigón de cemento. Preparación y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral. Argentina.
6. NTP 339.213 (2007) Método de ensayo normalizado para la elaboración, curado acelerado y ensayo en compresión de especímenes de concreto. Perú.
7. Schierloh, M.I., Retamal, H.R., Deusich L.D., Souchetti, R. (2018). Evaluación de la relación existente entre la resistencia a la compresión del hormigón a distintas edades y la especificada a los 28 días utilizando cemento compuesto CPC 40 y fillerizado CPF 40 con áridos de la zona. Proyecto desarrollado en la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional.

RUS



Org.
"El Galpón"
**RIO URUGUAY
SEGUROS®**

Aspectos históricos y estado de conservación de la Iglesia de Nuestra Señora de la Concepción de Almofala (Brasil)

Francisco CARVALHO DE ARRUDA COELHO¹, Livia María DE SOUZA MONTEIRO², Esequiel FERNÁNDEZ TEIXEIRA MESQUITA³

(¹) Profesor Doctor, Universidad Estatal Valle del Acaraú

(²) Ingeniera Civil, Investigadora

(³) Profesor Doctor, Universidad Federal de Ceará. Campus Russas

Resumen

El distrito turístico de Almofala en Itarema-CE, Brasil, ubicado a 240 km oeste de Fortaleza, cuenta con uno de los principales puntos de visitación, la Iglesia de Nuestra Señora de la Concepción o, como es más conocida, la Iglesia de Almofala. El edificio histórico tiene un estilo barroco y es un ejemplo de la arquitectura jesuita brasileña. La construcción se completó en 1712 con mano de obra local, y la mayoría de sus materiales procedían del Estado de Bahía. Después de la ejecución hubo mucho mal tiempo, incluido un aterramiento debido a una duna móvil. Además, la proximidad a la playa y el escaso mantenimiento contribuyen al importante estudio de su estado de conservación. Este trabajo tiene como objetivo investigar qué fallo puede haber ocurrido durante su construcción y su influencia en los problemas patológicos actuales y sus manifestaciones. A partir de la observación se verificó la presencia de algunas manifestaciones patológicas que pueden comprometer la durabilidad de la estructura.

Abstract

The tourist district of Almofala in Itarema-CE, Brazil, located 240 km west of Fortaleza, has one of the main visitation points, the Church of Nossa Senhora de la Concepción as it is better known, the Church of Almofala. The historic building has a Baroque style and is an example of Brazilian Jesuit architecture. Construction was completed in 1712 with local labor, and most of its materials came from the State of Bahia. After the execution, there was a lot of bad weather, including a grounding due to a moving dune. In addition, the proximity to the beach and the poor maintenance contribute to the important study of its state of conservation. This work aims to investigate what failure may have occurred during its construction and its influence on current pathological problems and their manifestations. From the observation, the presence of some pathological manifestations that can compromise the durability of the structure was verified.

Hay un fuerte viento que sopla desde la costa del noreste de Brasil. Proviene del mar y se adentra en el interior donde, en ocasiones, acaba amontonándose, lejos de la orilla del mar, en cerros de apreciable altura.

La migración de partículas se debe casi siempre a la fuerza, permanencia e invariabilidad de la dirección del viento, que va acompañada de la disposición continua, lenta y persistente de los granos de arena. Así se forman las dunas.

(Helio de Queiroz Duarte)

Introducción

Historia

El pueblo de Almofala (Almo hala, del árabe, lugar de estancia temporal), según los registros del Instituto Brasileño de Patrimonio Cultural (IPHAN) [1], tiene su origen vinculado a la Real Cédula de 8 de enero de 1697, que determinó al gobernador de Maranhão la donación, por parcelas, de toda la tierra que necesitaban los indios de etnia Tremembés. Así, estos indígenas establecerían aldeas permanentes y la Compañía de Jesús podría actuar, catequizándolos.

Inicialmente, muy cerca del mar y del río Aracati-mirim, se construyó una capilla de tierra apisonada cubierta con paja para que pudieran iniciarse las actividades de educación religiosa. A principios del siglo XVIII, de 1712 a 1758, en el mismo lugar que la iglesia provisional, se construyó la iglesia en mampostería utilizando una mezcla de técnicas clásicas y populares. Con estos diferentes métodos arquitectónicos, la iglesia se diferencia de otras obras jesuitas brasileñas.

Según la documentación del IPHAN, el Capitán Manoel Rodrigues Ribeiro da Costa fue el autor del proyecto y quien dirigió la construcción de la iglesia en honor a Nuestra Señora de la Concepción. De acuerdo con el Padre Antonio Tomas apud Ramos (1981) [2], en 1710, el padre José Borges de Novaes se trasladó a Almofala, como primer misionero oficial de la iglesia.

Solía existir la Hermandad de Nuestra Señora de la Concepción, fundada quizás por el padre Novaes, bajo cuya tutela y dependencia se ha conservado siempre la iglesia. Estaba formado por gente más rica, no sólo de esa zona, sino también de varias otras partes del pueblo a veinte, treinta y más leguas de distancia. Muchos de los admitidos compitieron, justo en el momento de la entrada, con grandes limosnas, a veces en ganado, a veces en efectivo, y a veces en ambas especies, convirtiéndose así en poseedor de significativas cantidades de bienes que gastó generosamente en el mantenimiento de la iglesia y la decencia y el esplendor del culto.

La iglesia de Almofala es uno de los pocos registros de su estilo en el extremo norte de Brasil, ejerciendo una función de preservación de la conciencia histórica de la sociedad. La presencia de la iglesia en el centro muestra cómo ha ido creciendo el pueblo de Almofala a su alrededor. Al tener contacto con los residentes, se puede

ver cuán seria es la historia de sus antepasados en sus recuerdos y el respeto que tienen por su patrimonio preservado.

El material utilizado en su construcción, como piedra esmerilada, madera (Cedro de Baiano), tejas y ladrillos que pesaban alrededor de 5kg, provenían de Bahía, vía Naval, hasta donde se ubica actualmente la ciudad de Acaraú, y fueron llevados a Almofala en carretas de bueyes, un proceso que requiere mucho tiempo.

En 1897, una gran duna es desplazada por los vientos del mar y comienza a avanzar hacia la iglesia y casas vecinas, caracterizando el inicio del aterramiento. Fue gracias a otra duna que el río Aracati-mirim cambió de curso y trasladó su desembocadura hacia el este, provocando que la iglesia se alejara más de su margen. Con el agravamiento de la situación, en 1898 se autorizó la retirada de imágenes y piezas de culto. El episodio fue un capítulo dramático en la historia de la población local. Castro (19650 apud Nascimento (2011) [3].

Según los informes de la población, transmitidos de generación en generación, la parte oriental de la Iglesia es la primera en caer. Durante el período en el que estuvo aterrada la iglesia, la población de Almofala se fue retirando de los alrededores y poco a poco la ciudad fue abandonada. Como se puede apreciar en la documentación puesta a disposición por IPHAN, debido al milagro de la propia naturaleza, llevando a cabo más de uno de sus infinitos caprichos, el gran cerro arenoso se trasladó de allí a los 45 años. La actitud de la población fue muy importante en la "retomada" de la Iglesia, cuyas condiciones entonces eran muy precarias, lo que estaba hecho de madera se había echado a perder y lo que estaba hecho de hierro se había consumido en herrumbre. Solo queda la estructura de mampostería sólida (Figuras 1 y 2).



Figura 1. Vista interior de la Iglesia de Almofala después de retirada de la arena [Fuente: Superintendencia IPHAN de Fortaleza - CE].



Figura 2. Lateral de la Iglesia de Almofala después de la retirada de la arena [Fuente: Archivos de la Superintendencia IPHAN - Fortaleza-CE].



Figura 3. Iglesia de Almofala en el período de retiro de la arena [Fuente: Museo de Itarema]

Después de pasar casi medio siglo cubierta por la duna, la población (Figura 3) comenzó a retirar el resto de arena, lo que llevó alrededor de tres años de trabajo. La duna comenzó a ser retirada y en 1943 había sido removida definitivamente por la fuerza del viento y las personas que ayudaron a desenterrarla. La Iglesia estaba dañada, todas las piezas de madera y hierro se habían deteriorado, pero todavía estaba en pie. De esta forma, la comunidad y las entidades eclesíásticas locales inician el proceso de restauración. La Figura 3 muestra la Iglesia en el período de desenterramiento.

En 1982, el mal estado de conservación de la iglesia vuelve a movilizar a la población para restaurarla. Después de que los proyectos de renovación fueron elaborados por el Instituto del Patrimonio Histórico y Artístico Nacional - IPHAN, se llevaron a cabo obras que mantuvieron el diseño original del edificio (Clasificación Federal, n° 652-T-62) [Nascimento, 2011].

Arquitectura

Según la Guía de propiedades catalogadas en el estado de Ceará [4], se trata de una obra de importante valor arquitectónico, en su diseño barroco. Cabe destacar la fachada principal, con un aguilón de punto elevado, rematado por una desenfrenada voluptuosidad de diseño popular, así como la torre única que, como sugiere CASTRO [5], se destaca como un elemento más elaborado, con un remate de coronación elegante y de origen erudito y, en el lugar donde debería haber una segunda torre, que diera simetría a la composición, solo se erigió la caja de soporte, rematada por un campanario independiente, con riesgo de un aspecto oriental (hindú-portugués). Sin duda, uno de los templos más bellos de Ceará, que data del siglo XVIII.

Según BEZERRA (1965) [6], en la documentación del IPHAN, la iglesia no muestra ningún parentesco plástico con las obras estandarizadas y fácilmente identificables de la Compañía de Jesús. También hay discusiones de otras fuentes, entre muchas interesadas en la historia y el entorno de la Iglesia de Almofala, acerca de que su torre única tiene detalles exagerados, a diferencia de las otras partes de la fachada y el resto de la iglesia.

Su arquitectura se caracteriza por ser barroca, ligada a las creencias religiosas y es exuberante con formas y detalles redondeados y curvos, que caracterizaron las obras de este estilo. Presentan irregularidades en las formas y relieves que dan sensación de movimiento (Figura 4).

Los materiales de su estructura, como ladrillos y piedras, siguen siendo los mismos desde su construcción. Se cambiaron algunos materiales como toda la madera, deteriorada por la humedad provocando hongos y moho, y las tejas que no soportaron el peso de la duna.

Metodología

La metodología utilizada para evaluar el estado de conservación de la iglesia de Almofala se basó en visitas al sitio y análisis de colecciones fotográficas actuales y antiguas. Además de la historia y documentación escrita, puesta a disposición por la oficina regional del IPHAN de Fortaleza y contada por la población común y algunas personas interesadas en el estudio de la historia de la Iglesia. Para la identificación de manifestaciones patológicas se ha utilizado, además de las visitas técnicas, la bibliografía existente sobre el tema.

Mantenimiento y rehabilitaciones

Según Zancheti (2009 apud Pinto & Moreira, 2011) [7], la conservación es una actividad destinada al mantenimiento de los objetos patrimoniales. Aborda los valores de los edificios u otro tipo de bienes para que sigan transmitiendo su significado a lo largo del tiempo. Los objetos de conservación son artefactos materiales que adquieren valores reconocidos por una sociedad determinada y considerados importantes para ser transmitidos a las generaciones futuras. Por lo tanto, la conservación de un objeto depende de los valores que la sociedad le asigna colectivamente. Son objetos del pasado y del presente.

Se nota la falta de atención al mantenimiento de las

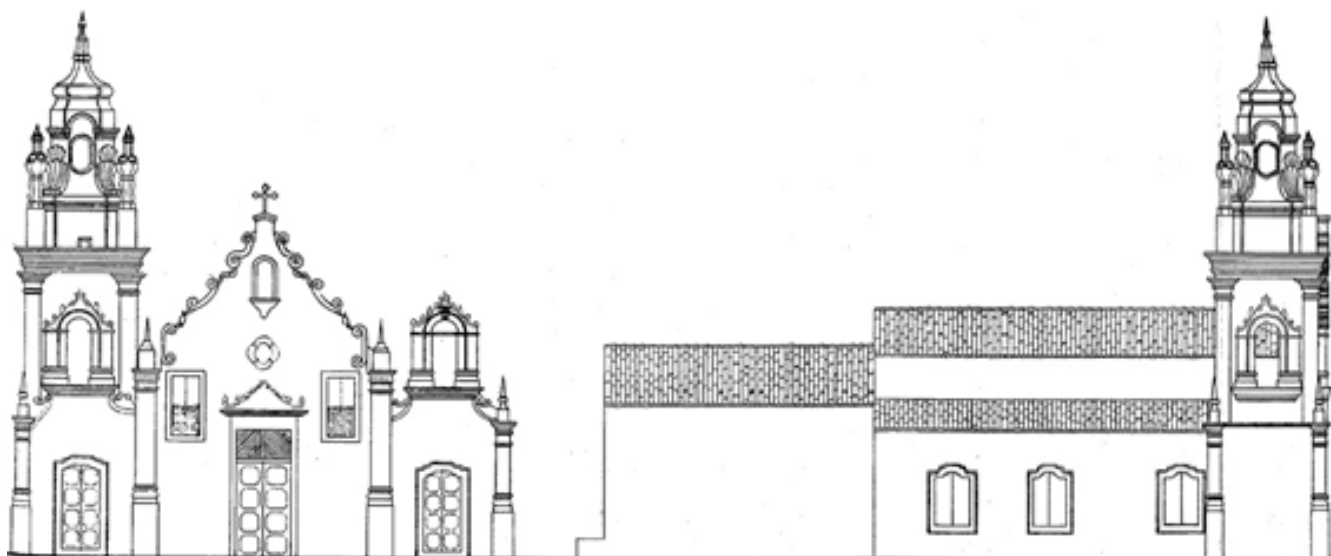


Figura 4. Fachada frontal y fachada lateral [Facultad de Artes y Arquitectura de Ceará].

edificaciones que forman parte del Patrimonio Histórico, especialmente en las ciudades del interior, ya que la falta de información provoca que estas construcciones sean mal tratadas por personal no especializado, que no utiliza las técnicas y medidas que requiere este tipo de edificación.

En 2012, la iglesia de Almofala cumplió 300 años de existencia, teniendo desde su construcción algunas rehabilitaciones, la más significativa se llevó a cabo después de su desterramiento. Desde la recuperación de la iglesia y remoción de la duna, se procedieron cinco intervenciones importantes para garantizar su conservación. A continuación, según los archivos de IPHAN, se presenta un resumen de las reparaciones que se llevaron a cabo durante ese periodo:

1ª Rehabilitación: Cuando la duna se aleja, en 1943, la población vuelve a la ciudad para realizar reparaciones y reanudar las actividades de culto religioso. Esta reforma recibe una atención importante porque fue realizada por el Lions Club de Acaraú, en 1983, con ayuda económica de la población, que realizó subastas y bingos. Sin contar con ayuda profesional.

A partir del reconocimiento de la iglesia como patrimonio histórico nacional, el mantenimiento y las renovaciones fueron realizados por personal especializado en el área de una empresa constructora contratada, con la supervisión del personal técnico del IPHAN, con el propósito de conservación e implementación de técnicas que mantendrían y/o copiarían fielmente el diseño original.

2ª Rehabilitación: Tuvo inicio en enero de 1983, y consistió en la primera etapa de rehabilitación llevada a cabo por el IPHAN. Esta etapa consistió en: Estructura de madera de la cubierta, demolición y recuperación de revoques, demolición de techos de nave y capilla mor, carpintería, inmunización de madera, encofrado de coro y marcos (Figuras 5, 6, 7, 8 y 9).

- Cubierta: revisión y reposición parcial del techo. Aproximadamente el 50% de las tejas se reutilizaron y el resto se construyó según los originales;

- Pináculo: fijación con introducción de mortero, garantía de forma y plomada;
- Puertas y ventanas: Recuperadas y reemplazadas cuando sea necesario;
- Pintura de paredes y marcos externos e internos: pre tratamiento de la mampostería con un sellador antes de recibir la pintura en lugares con mayor humedad. Sólo entonces se realizó la pintura con cal y un aditivo fijador;
- Impermeabilización de suelos de ladrillos con aplicación de sellador penetrante.



Figura 5. Torre de la iglesia aún sin reparar [Fuente: Superintendencia IPHAN de Fortaleza-CE].



Figura 6. Torre de la Iglesia de Almofala después de la rehabilitación en 2005 [Fuente: Superintendencia IPHAN de Fortaleza - CE].



Figura 7. Fachada antes de todas las Rehabilitaciones [Fuente: Superintendencia IPHAN de Fortaleza - CE].



Figura 8. Fachada después de la rehabilitación de 1983 [Fuente: Superintendencia IPHAN de Fortaleza - CE].

Para llevar a cabo esta rehabilitación, las pinturas en puertas y ventanas fueron retiradas con la aplicación de sosa cáustica y limpieza de todas las partes, se lavaron con agua y recibieron un lavado complementario con vinagre y agua. Los vanos, marcos y cierres fueron restaurados fielmente siguiendo las fotos del edificio de antes del enterramiento. Las puertas y ventanas se trataron con una sustancia de inmunización y luego se pintaron con esmalte sintético en 2 capas.

3ª Rehabilitación: Se llevó a cabo de julio a diciembre de 1983 y consistió en completar los servicios de la iglesia y mejoras de la plaza de enfrente, con la realización de servicios de urbanización del área exterior, iluminación del monumento, con el objetivo de realzar su volumen; tratamiento del entorno, a través de la implantación de cubierta vegetal y pavimento para fijar la arena circundante; y, finalmente, la sustitución de la red pública de energía, para que no se interfiera con el componente visual del edificio.

4ª Rehabilitación: En 1997, con la visita anual de los inspectores del IPHAN, responsables la clasificación, se consideró la necesidad realización de servicios de recuperación de diversos elementos de la iglesia. Esta vez, incluido el tratamiento de las piedras de los arcos de la puerta de entrada, laterales y altar. Además de la restauración del suelo de piedra del presbiterio y restauración del alero.

El descuido hacia la iglesia por parte de los responsables de la comunidad se convirtió en un problema, ya que no hubo mantenimiento de las mejoras realizadas por institución federal y en básicamente todas las inspecciones se encontraron irregularidades relacionadas con el mal uso del edificio. En informes técnicos de la época se hace referencia a la colocación de pancartas en fechas conmemorativas en la fachada de la iglesia, dañando la pintura, alambres para colocar puntos de luz y uso como depósito del espacio donde se ubica la pila bautismal.

5ª Rehabilitación: En 2005 (Figuras 10 y 11), se solicitaron algunas reparaciones, realización de técnicas de mantenimiento preventivo, ya que desde que se ha monitoreado la iglesia se ha observado la presencia de algunas manifestaciones patológicas, como infiltración y eflorescencias. Otro problema que se presente es la microfisuración en el recubrimiento, provocada por la contracción hidráulica en la pintura a base de cal. Tales problemas son agravados por la aplicación anual de una capa de cal sobre la pintura existente en vísperas de las fiestas patronales. También se observa problemas resultantes de aplicaciones deficientes de técnicas correctivas, como la aplicación de masilla en parte de la pared sin yeso, sin preparar el lugar de manera adecuada para recibir el material.

Situación actual

La iglesia de Nuestra Señora de la Concepción de Almofala continúa actualmente con actividades de culto religioso y su estado físico puede considerarse relativamente bueno (Figura 12). Ella se somete a reparaciones mínimas todos los años para la fiesta de la patrona (Figura 13). Estas reparaciones se limitan a pinturas de paredes, sin hacer lo mismo en puertas y ventanas (Pintura



Figura 9. Rehabilitación de 1983. Andamio montado para recuperación de fachada (izquierda) y vista interior después de remoción del techo (derecha) [Fuente: Superintendencia IPHAN de Fortaleza - CE].

de las puertas, ventanas, techo y otros componentes de la iglesia).

Un dato importante a mencionar es que existe la necesidad de una mayor atención a la cultura y el paso de la historia y costumbres a los nativos y turistas, a través de la investigación sobre el patrimonio cultural, incluidos los inmateriales, el desarrollo de prácticas educativas para los jóvenes y niños locales para la preservación de la historia y promoción de conferencias para la integración histórico-cultural.

Además de las manifestaciones patológicas ya mencionadas anteriormente y que aún se encuentran en la actualidad, se presta atención a la degradación de la madera en los marcos y al desprendimiento de la pintura, tanto en las paredes como en todas las puertas y ventanas (Figura 14). Estos problemas son aumentados debido a la incidencia directa de los rayos ultravioletas, la variación térmica, la lluvia y la exposición a cloruros (aire salado).



Figura 10. Iglesia de Almofala un año después de la rehabilitación de 2005 [Fuente: Superintendencia IPHAN de Fortaleza - CE].



Figura 12. Iglesia de Nuestra Señora de la Concepción [Fuente: autor].



Figura 11. Perspectiva de la iglesia después de la reforma de 2005 [Fuente: Superintendencia IPHAN de Fortaleza - CE].



Figura 13. Fiesta patronal Nuestra Señora de la Concepción [Fuente: autor].



Figura 14. Madera gastada en puertas y ventanas exteriores.

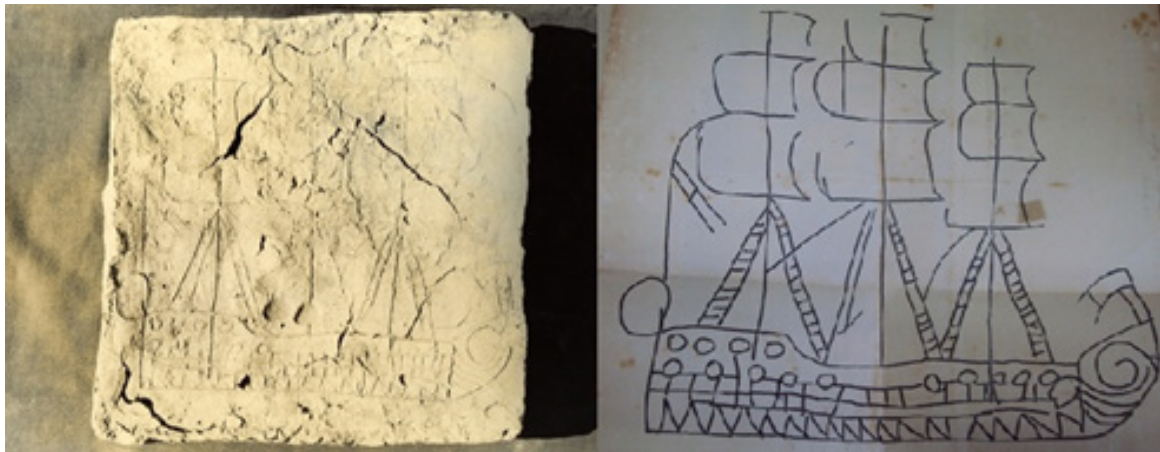


Figura 15. Ladrillo con diseño de carabela [Fuente: Superintendencia IPHAN de Fortaleza - CE].

Curiosidades

La población demuestra conocer la historia de la Iglesia de Almofala. A continuación, se muestran informaciones proporcionadas por ciudadanos que escucharon o vieron algún hecho relevante relativo a la iglesia de Nuestra Señora de la Concepción de Almofala. Es importante señalar que las historias pasadas entre seguidas generaciones terminan distorsionadas, por lo que la veracidad de las mismas no está atestiguada con certeza:

- Su piso original era de madera y debajo de este piso fueron enterradas personas importantes para la comunidad y su desarrollo religioso;
- La mano de obra utilizada fue esclava, que vivía en una comunidad cercana que actualmente se llama Patos, municipio de Sobral-Ceará;
- Algunos dicen que hay un túnel que va de la iglesia al mar;
- Se puede ver, incluso por la semejanza de esta iglesia con otras en la costa de Brasil, que deberían haber construido dos torres iguales, pero por falta de material, sólo se construyó una en el lado izquierdo;
- Sus paredes miden alrededor de 77 cm y sus ladrillos pesan aproximadamente 5 kg;
- La cruz que actualmente se encuentra en el centro superior de la iglesia fue hecha por un residente mucho después de la renovación de 1983, es decir, recientemente;

- La mayoría de las baldosas originales se deterioraron con el aterramiento, pero las colocadas en su lugar tienen las mismas dimensiones, con una longitud aproximada de 70 cm;
- La iglesia de Almofala alguna vez estuvo muy cerca de la playa, según las historias contadas la iglesia fue construida junto al mar, hoy el mar está a pocos kilómetros de la iglesia;
- Uno de los ladrillos encontrados entre las ruinas tiene un dibujo de una carabela, como se muestra en la Figura 15.

Conclusión

La iglesia de Almofala es pequeña, pero tiene mucha historia. Fue inspiración para grandes escritores, como Carlos Drummond de Andrade en el texto "Arena y viento" en 1946 y para el Padre Antonio Tomás en la monografía "Almofala", en los años que vivió cerca de la iglesia y por eso, simplemente por llevar historias que involucran a indígenas, negros, portugueses y nativos en la costa del interior de Ceará o por haber sido aterrada y mantenida en pie, merece respeto y conservación de todos.

Teniendo en cuenta que la Iglesia de Nuestra Señora de la Concepción de Almofala cumplió 300 años de existencia en 2012, se encuentra en excelentes condiciones. A pesar de haber sufrido severos efectos naturales, que perjudicaron su máximo rendimiento, se mantuvo erguida, demostrando la calidad de los materiales que componen su estructura. En su estado de conservación

actual, se considera que la obra mantendrá viva durante mucho tiempo la historia de un pueblo.

Agradecimientos

Antonio Marcos Muniz Graça, participó de la reforma de 1983, brindó mucha información importante para esta obra.

Eronildes Muniz do Nascimento, autora de 'Análisis de la degradación ambiental resultante del proceso de uso y ocupación de las dunas de la playa de Almofala, en el municipio de Itarema'.

Superintendencia del IPHAN en Fortaleza-CE, que dio acceso a documentación relacionada con la Iglesia.

Población de Almofala que tanto aportó con la información oral transmitida de generación en generación.

Ingeniera Livia María Souza Monteiro, Ingeniero Ezequiel Mesquita.

Referencias bibliográficas

1. IPHAN. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Acervo da 4ª SR do IPHAN. Fortaleza. consulta em 24 de junho de 2013.
2. RAMOS, Dinorá Tomás. Padre Antônio Tomás. Fortaleza: Oficinas gráficas do jornal A fortaleza, 1981.
3. NASCIMENTO, Eronildes Muniz. Análise da degradação ambiental decorrente do processo de uso e ocupação das dunas da praia de Almofala no município e Itarema. UECE Itarema- CE, 2011.
4. GUIA DOS BENS TOMBADOS DO ESTADO DO CEARÁ. Fortaleza [entre 1995 e 2008].
5. CASTRO, José Liberal de. Notas datilografadas. Apud: Igreja de nossa Senhora da Conceição de Almofala. S.N.T. Fortaleza, 1965.
6. BEZERRA, Antônio. Notas de Viagem. Fortaleza, Imprensa universitária do Ceará, 1965.
7. Pinto, F.L.H. e Moreira, F.D. A autenticidade na conservação da arquitetura moderna: o caso do concreto. IBRACON, 2011.



LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO MULTIDISCIPLINARIO PARA LA INVESTIGACION TECNOLÓGICA

TECNOLOGIA DEL HORMIGON

- Estudio de materiales y componentes del hormigón armado
- Estudio de hormigones convencionales y especiales
- Durabilidad de agregados y de hormigones en distintos ambientes
- Métodos no destructivos
- Elaboración de especificaciones técnicas para obras civiles
- Evaluación de estructuras construidas afectadas por patologías
- Corrosión de armaduras



Investigación y desarrollos tecnológicos

Capacitación RRHH

Servicios Tecnológicos a terceros

52 e/121 y 122 - La Plata - Buenos Aires - Argentina
Tel.: (0221) 4831141/44

www.lemmit.gov.ar

Análise da propagação de ondas ultrassônicas em painéis de alvenaria argamassados com presença de manifestações patológicas

Emanuel ARAÚJO¹, Israel SOUSA¹, Esequiel MESQUITA¹

(¹) LAREB, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, 62900-000, Ceará, Brazil

emesquita@ufc.br

Resumo

As edificações históricas apresentam valor cultural e simbolizam a identidade de um local e de seu povo. Conforme a Carta de Atenas em 1931, resultante do I Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos de Monumentos Históricos, a preservação dos patrimônios deve ser pautada em um conjunto de técnicas a fim de impedir a perda dos seus traços históricos e artísticos originais. Como contribuição a preservação do patrimônio histórico, neste trabalho foram realizados um conjunto de estudos a fim de entender o comportamento das ondas ultrassônicas pelo método indireto em painéis de alvenaria argamassados, a fim de melhor entender como os padrões de Velocidade de Propagação Ultrassônica (VPU) podem indicar a presença de manifestações patológicas nestes sistemas. Para tal, realizou-se uma modelagem numérica de uma parede, a fim de entender as tensões atuantes resultante do peso próprio e como estas se relacionam com as VPU's, em seguida foi construída um modelo real em alvenaria de tijolos maciços em laboratório, objetivando entender a interferência desta nos resultados obtidos, finalmente os conhecimentos bibliográficos e os resultados adquiridos foram aplicado em um estudo de caso na Igreja de Nossa Senhora da Expectação, uma antiga estrutura de alvenaria do ano de 1709 pertencente a Icó, Ceará, Brasil. Baseado nos resultados obtidos dos modelos em laboratório e na posterior aplicação destes em um caso real, foi possível identificar alguns padrões de comportamento das VPU's para diferentes situações e presença de manifestações patológicas as quais seguem, fissuração superficial, descontinuidades de materiais, falta de aderência entre substrato e revestimento, assim como a identificação de padrões em arranjos de tensões na estrutura.

Palavras-chave: Velocidade de Propagação Ultrassônica, Caracterização não destrutiva; Painéis de Alvenaria; Argamassa de revestimento; Construção Histórica.

Summary

Historic buildings have cultural value and symbolize the identity of a place and its people. According to the Charter of Athens in 1931, resulting from the I International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments, the preservation of heritage must be based on a set of techniques in order to prevent the loss of its original historical and artistic traits. As a contribution to the preservation of historical heritage, in this work a set of studies were carried out in order to understand the behavior of ultrasonic waves by the indirect method in mortared masonry panels, in order to better understand how the patterns of Ultrasonic Propagation Velocity (VPU) may indicate the presence of pathological manifestations in these systems. For this, a numerical modeling of a wall was carried out, in order to understand the acting stresses resulting from the self-weight and how they relate to the VPU's, then a real model was built in massive brick masonry in the laboratory, aiming to understand the interference of this in the obtained results, finally the bibliographical knowledge and the acquired results were applied in a case study in the Church of Nossa Senhora da Expectação, an old structure of masonry of the year of 1709 belonging to Icó, Ceará, Brazil. Based on the results obtained from the models in the laboratory and on their subsequent application in a real case, it was possible to identify some patterns of behavior of the VPU's for different situations and the presence of pathological manifestations which follow, surface cracking, material discontinuities, lack of adhesion between substrate and coating, as well as the identification of patterns in stress arrangements in the structure.

Keywords: Ultrasonic Propagation Speed, Non-destructive characterization; Masonry Panels; Coating mortar; Historical Construction.

Introdução

O patrimônio histórico abrange as edificações que possuem valor histórico tanto em aspectos culturais quanto econômicos, sendo sua preservação de interesse social, uma vez que representa a história de uma sociedade. Dessa forma, a conservação de construções históricas é pertinente para a preservação da própria história de uma comunidade (MARTINI, 2019).

Assim como as edificações modernas, as construções históricas são formadas por materiais que quando em contato com o meio, sofrem ações que resultam na deterioração e, conseqüentemente, levam a uma redução do desempenho inicial, até atingir uma deficiência ou manifestação patológica, que venha a causar sérios danos à estrutura.

Dessa forma, as principais falhas nos trabalhos de preservação estão na falta de conhecimento técnico das características dos materiais constituintes, seu histórico de origem, e seu comportamento estrutural, sendo este último bem divergente dos principais sistemas construtivos atuais.

Os ensaios destrutivos, (END) são aqueles que causam pouco ou nenhum dano a estrutura, dentre os END existentes, destaca-se o ensaio de determinação de velocidade de pulso ultrassônico (VPU). Este método consiste em medir o tempo de propagação de uma onda ultrassônica através de um determinado material. Conhecendo-se a distância de propagação, é possível medir a velocidade da onda e fazer correlações com a qualidade e o tipo de material analisado. Nos últimos anos, uma série de avanços no âmbito da utilização de ensaios ultrassônicos com aplicações em alvenarias foram feitos, desde o emprego do ultrassom para se identificar a heterogeneidade de alvenarias históricas, conforme reportado em Mesquita (2018), como a aplicação para estimativa de parâmetros mecânicos das alvenarias, conforme reportado por Martini (2019) e Miranda (2011). Todavia, ainda há uma série de questões que precisam ser investigadas, a fim de parametrizar a interpretação destes dados, como o entendimento das maneiras que as manifestações patológicas interferem nas VPU's, e como estas se apresentam em padrões ao longo do painel.



Figura 1. Fachada Igreja Nossa Senhora da Expectação.

Desta forma o estudo do comportamento das ondas ultrassônicas pelo método indireto em painéis de alvenaria argamassada, serve como subsídio para o desenvolvi-

mento de uma metodologia de interpretação dos resultados do ensaio de ultrassom, abrindo mais um caminho para a caracterização de danos em alvenarias.

Para tal, este trabalho realiza uma série de estudos, utilizando de modelo numérico e estudos em laboratórios, para parametrização destes comportamentos para utilizando também dados de campo de uma edificação histórica, a Igreja Nossa Senhora da Expectação, uma antiga estrutura de alvenaria do ano de 1709, considerada a construção mais antiga de Icó, Ceará, Brasil. Além disso, busca-se também contribuir para ampliação da aplicação do teste ultrassônico indireto em painéis de alvenaria de tijolos maciços argamassados.

Preservação do patrimônio histórico Igreja Nossa Senhora da Expectação

Patrimônios culturais possuem grande relevância na identidade cultural de um determinado grupo de pessoas e sua região, neles estão representadas as tradições e costumes daquele povo, permitindo resgatar a origem que fazem parte dos costumes atuais, sendo essencial no entendimento da sociedade, logo a preservação do Patrimônio Histórico é uma questão urbana.

Essa necessidade de preservação do Patrimônio, é um assunto discutido e estudado em todo o mundo, um dos primeiros documentos internacionais realizados com o objetivo de estabelecer conceitos de proteção aos patrimônios históricos foi abordado na Carta de Atenas em 1931, resultante do I Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos de Monumentos Históricos, promovido pelo Escritório Internacional dos Museus (OIM). Neste documento foi estabelecido alguns princípios relacionados à preservação dos patrimônios, impedindo que intervenções realizadas de maneira inadequada pudessem causar a perda dos seus traços históricos e artísticos.

Posteriormente, em 1964, foi realizado na cidade de Veneza o II Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos, que elaborou a Carta de Veneza, que por sua vez foi adotada pelo Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS) uma organização não governamental global associada à UNESCO. Na ocasião, foram revisados e aprofundados os conceitos estabelecidos na Carta de Atenas no que diz respeito à preservação de patrimônios históricos.

A Igreja de Nossa Senhora da Expectação, primeira edificação do município de Icó, cidade localizada a 366 km da capital do estado do Ceará, Brasil, integra um dos mais de 300 imóveis tombados como patrimônio histórico pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 1998, é pertencente ao Conjunto Arquitetônico e Urbanístico de Icó – CE. Construída em 1709, originalmente com o nome de Capela de Nossa Senhora do Ó, a edificação destaca-se por ser o templo mais antigo do município de Icó e por sua importância histórica, uma vez que a partir de 1709, a cidade teve seu início, com o crescimento do povoado em torno desta Igreja. Em 1736, a então Capela de Nossa Senhora do Ó, foi escolhida como Igreja Matriz, título que detém até hoje; e como consequência disto, o então Arraial da Ribeira dos Icó's elevou-se à categoria de vila (VIANA, 2011).

Ensaio não destrutivo (END) são aqueles que causam pouco ou nenhum dano ao elemento ensaiado, incluem métodos capazes de obter informações das características tecnológicas de um material, ou ainda, monitorar a degradação de componentes e equipamentos da estrutura em serviço. Dentre os END atualmente difundidos na construção civil, um dos mais utilizados é o ensaio de determinação de velocidade de pulso ultrassônico, que a partir deste, podem ser obtidos uma série de propriedades adicionais dos materiais. Este método é preconizado no Brasil pela ABNT NBR 8802: 2013.

O método de ensaio de propagação do pulso ultrassônico consiste na transmissão e recepção de ondas sonoras de alta frequência (superior a 20.000 Hz) através do material que se deseja analisar. Para um material homogêneo, isotrópico em meio infinito, esta velocidade de propagação depende da densidade e das propriedades elásticas desse material, conforme Equação 01 (BUNGEY, 1989; PUNDIT MANUAL, 1994; NAIK, MALHOTRA e POPOVICS, 2004).

$$V = \sqrt{\frac{KE_d}{\rho}} \quad (01)$$

Com:

$$K = \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (02)$$

Onde:

- V = velocidade de propagação de onda ultrassônica, m/s;
- Ed = módulo de elasticidade dinâmico, N/m² ou Pa;
- ρ = densidade, kg/m³;
- ν = coeficiente de Poisson dinâmico.

Conhecida a distância entre os pontos dos quais foram realizados a transmissão e recepção da onda, é possível então determinar a velocidade média no trecho de propagação. Para tal utilizamos a Equação 03, onde V é a velocidade de propagação da onda ultrassônica em m/s, L é a distância entre a emissão e recepção da onda, em metros, e t é o tempo em segundos.

$$V = \frac{L}{t} \quad (03)$$

A velocidade do ultrassom nos painéis de alvenaria dependerá das estruturas de alvenaria em conjunto com as argamassas e os possíveis elementos nela incorporados. Como a velocidade decresce rapidamente ao se propagar por meios líquidos, e mais ainda, em meios gasosos, é possível usar a velocidade média de propagação como estimativa da quantidade de vazios e, consequentemente, da densidade do material (FIGUEIREDO, 2005).

Conforme a ABNT NBR 16805:2020, o procedimento para o método indireto consiste em fixar o transdutor-emissor e caminhar o transdutor-receptor ao longo do material por distâncias pré-definidas fazendo leituras sucessivas.

Para encontrar a velocidade de propagação do pulso, as leituras sucessivas de tempo de propagação e as distâncias entre os transdutores, são plotados em um gráfico Tempo de Propagação versus Distância marcando os

pontos para cada distância lida. Os pontos obtidos, são aproximados por uma reta que melhor se ajusta a eles, a reta pode ser obtida com o auxílio de uma ferramenta computacional, o coeficiente angular desta reta será a velocidade da onda ultrassônica.

Procedimentos experimental

Diante da proposta deste trabalho de realizar uma parametrização e interpretação dos dados obtidos a partir da propagação de ondas ultrassônicas pelo método indireto, a metodologia deste trabalho foi dividida em 3 etapas, as duas primeiras, serão voltadas para estudos em laboratório em conjunto com um estudo de literatura incluindo uma modelagem numérica e uma análise em um modelo real, a fim de entender propriedades básicas da propagação das ondas pelo método indireto, estudando como diferentes fatores interferem nas velocidades obtidas e como utilizar estes valores, já terceira etapa consistirá na aplicação dos resultados obtidos em um estudo de caso na edificação Igreja Nossa Senhora da Expectação em Icó Ceará.

1. Modelagem Numérica

A primeira etapa para realização deste trabalho, consiste em executar uma modelagem numérica de uma parede de alvenaria de tijolos maciços, a fim de entender como é a propagação de tensões em uma parede de alvenarias exposta apenas aos esforços normais do peso próprio da edificação, para que estes esforços sejam comparados as velocidades de propagação das ondas ultrassônicas.

A modelagem numérica, é muitas vezes utilizada para realização de análises estruturais, sendo realizadas computacionalmente com o uso de métodos numéricos, nos quais resolvem um sistema de equações diferenciais parciais, obtendo soluções sobre o estado de tensão e deformação de um determinado corpo.

O método utilizado foi o MEF (Método dos Elementos Finitos), que devido aos avanços computacionais se tornou uma importante ferramenta para caracterização estrutural. O método consiste em criar um modelo estrutural no computador e dividir esse modelo em uma malha com pequenos elementos finitos, nos quais são baseados em teorias estruturais, como a teoria das vigas, e formulações matemáticas apropriadas. Assim, para cada caso de análise poderá ser empregado um elemento finito apropriado, como os mostrados na Figura 2.

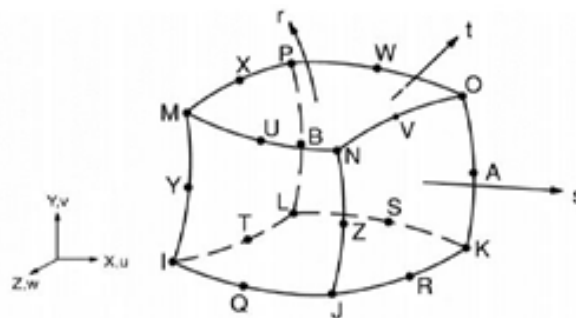


Figura 2. Exemplo de elemento finito poliédrico.

A geometria foi elaborada seguindo os conceitos da macro modelagem, a qual consistiu na representação

de uma parede de alvenaria por um único material. Recorreu-se a literatura para a definição das propriedades mecânicas do material. Foi consultado o NTC 2008-Decreto Ministerial 14/1/2008 de onde obteve os valores do módulo de elasticidade (E) e peso específico (w), e resistência à compressão (fc), já para o coeficiente de Poisson (v), seguiu-se os valores adotados no estudo realizado por (F. Brandão, 2016) e para a resistência à tração (ft) os valores adotados por Delgado (2013). Tais valores estão apresentados na Tabela 1.

Propriedades adotadas na modelagem numérica				
E (GPa)	w (kN/m³)	v	fc (MPa)	ft (Mpa)
1,50	18,00	0,20	3,20	0,16

Tabela 1. Propriedade do macro material.

O Painel modelado consiste em uma parede de 1m de largura por 2m de altura, a área estudada será até apenas 1,5m de altura, entretanto escolheu-se realizar uma modelagem da parede com altura de 2m para a melhor visualização das tensões normais. Para a malha, uma vez que a geometria é simétrica e regular, optou-se por um sólido hexaédrico, correspondendo a cubos de 10 cm de arestas. A parede foi fixada em um dos lados de menor dimensão é aplicado a força gravitacional causando uma reação apenas pelo peso próprio.

2. Modelos em escala real

A segunda etapa deste trabalho consistiu em construir painéis de alvenaria em laboratório a fim de representar os componentes construtivos reais, e simular a aferição das velocidades ultrassônica sem a interferências de agentes externos.

O método de transmissão do pulso ultrassônico indireto seguiu conforme a norma a ABNT NBR 16805: 2020, consistiu no modo de arranjo do transdutor-transmissor (T) e do transdutor-receptor (R), onde estes ficam posicionados na mesma face do material analisado.

Para isso, foi então construído uma parede modelo de 150 x 100 x 13,5 cm, com tijolos de dimensões de 4,60

cm x 24,70 cm x 12,30 cm e massa específica de 2.000 kg / m³, unidos por uma argamassa de cal na proporção 1: 1 (cal: agregado fino, em massa). Finalmente, os painéis foram recobertos por argamassa de cal com espessura de 1,5 cm, na proporção de 1: 6 (cal: agregado fino, em massa), em seguida foram deixados 40 dias em processo de secagem para então serem usadas no experimento. O painel construído ainda apresentou uma das faces revestidas completamente com argamassa de cal, como pode ser verificado na Figura 3(a), enquanto na outra face os tijolos permaneceram aparentes Figura 3(b).

O principal objetivo dessa análise foi entender como a argamassa de revestimento interfere na caracterização do painel de alvenaria pelo método ultrassônico indireto, logo os painéis foram ensaiados em suas duas faces, conforme podem ser apresentados na Figura 3.

Para a aplicação do método, foram selecionados 12 quadrantes de 40 x 20 cm, espaçados 20 cm da base e 10 cm das demais extremidades, como mostra a Figura 4. Dessa forma para a aplicação do método indireto, foram realizadas 6 medições posicionando-se o transdutor transmissor no primeiro ponto de maneira fixa e variando o transdutor receptor em 5cm. No entanto, para a implementação do método indireto, seguiu-se as determinações de (MESQUITA et al., 2018), em que inicialmente o transdutor transmissor foi espaçado em 10 cm do transdutor receptor, e posteriormente variou-se a posição do segundo em 5 cm até a obtenção de 6 medições.

Para a realização do ensaio de ultrassom, foi utilizado o equipamento Proceq® PUNDIT 2000® 54 KHz, acoplado a dois transdutores, transmissor e receptor, permitindo a mensuração das velocidades de pulso ultrassônico.

3. Dados de campo

A terceira etapa consiste em aplicar os resultados observados nas etapas anteriores, assim como o conjunto de informações que podem ser obtidas pela literatura, a fim de realizar a aplicação em um estudo de caso. Para o estudo escolheu-se a Igreja Nossa Senhora da Expectação,

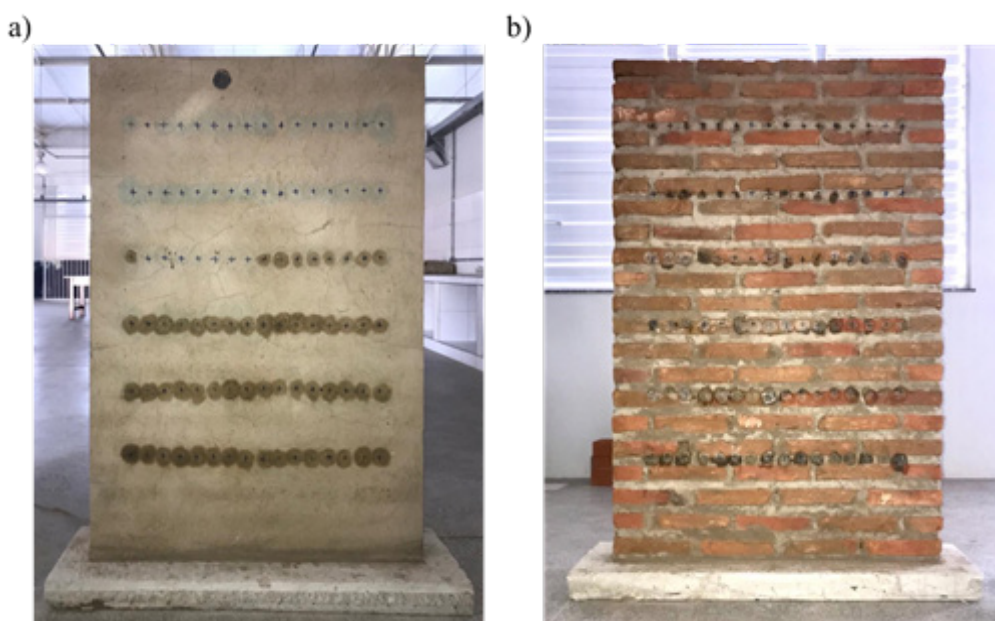


Figura 3. Painel de alvenaria: a) face com revestimento; b) face sem revestimento.

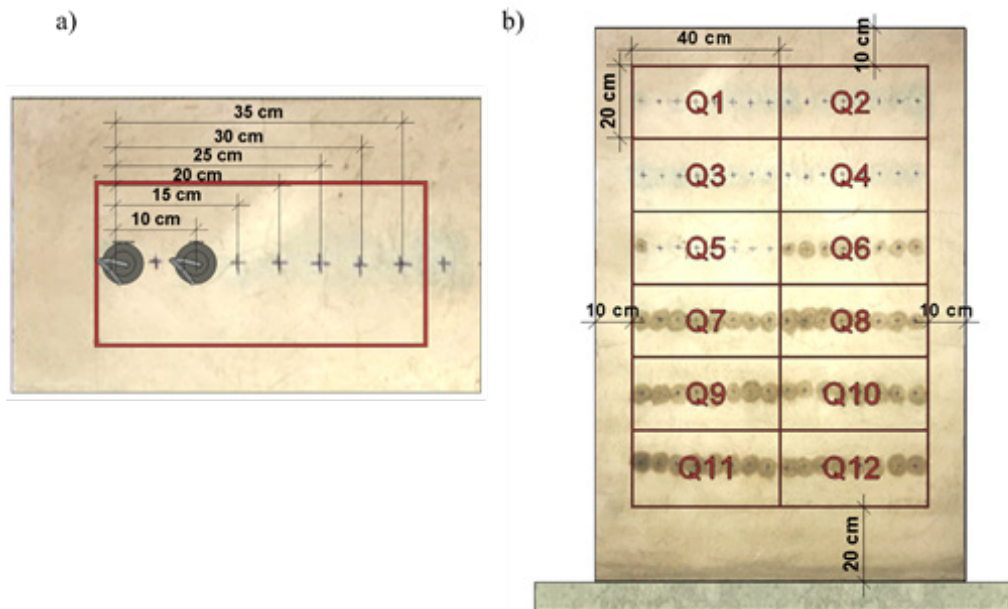


Figura 4. Painéis do laboratório a) Distâncias entre o transmissor e os receptores; b) Distâncias entre os quadrantes.

uma antiga estrutura de alvenaria do ano de 1709, considerada a construção mais antiga de Icó, Ceará, Brasil.

Os dados utilizados neste trabalho constituem uma parte de um estudo realizado mais detalhadamente a respeito da utilização do método indireto para caracterização das duas fachadas da edificação, trabalho realizado por Araújo E. et al. (2021), A New Approach for Assessment of the Coating Mortar Adherence in Ancient Masonries Through Ultrasonic Data, para este trabalho, serão utilizados apenas alguns painéis do conjunto de dados apresentado no trabalho de Araújo E. et al (2021), dando enfoque apenas nos painéis que direcionam para os padrões de comportamentos das VPU's para painéis com presença de manifestações patológicas e diferentes arranjos das tensões.

Resultados

1. Ensaios de caracterização das alvenarias experimentais

Os resultados encontrados das VPU's foram processados pelo software SURFER®, permitindo a montagem do mapa de cores, de modo a contribuir na visualização das alterações das velocidades no painel, assim como realizado nos trabalhos de (MESQUITA et al., 2018).

Iniciando pelos resultados obtidos nos painéis modelo de alvenaria, foi destacada a influência da argamassa de revestimento nos resultados obtidos de VPU, o principal questionamento devia-se a interferência da argamassa de revestimento para caracterização dos painéis de alvenaria, verificando se a camada de revestimento teria

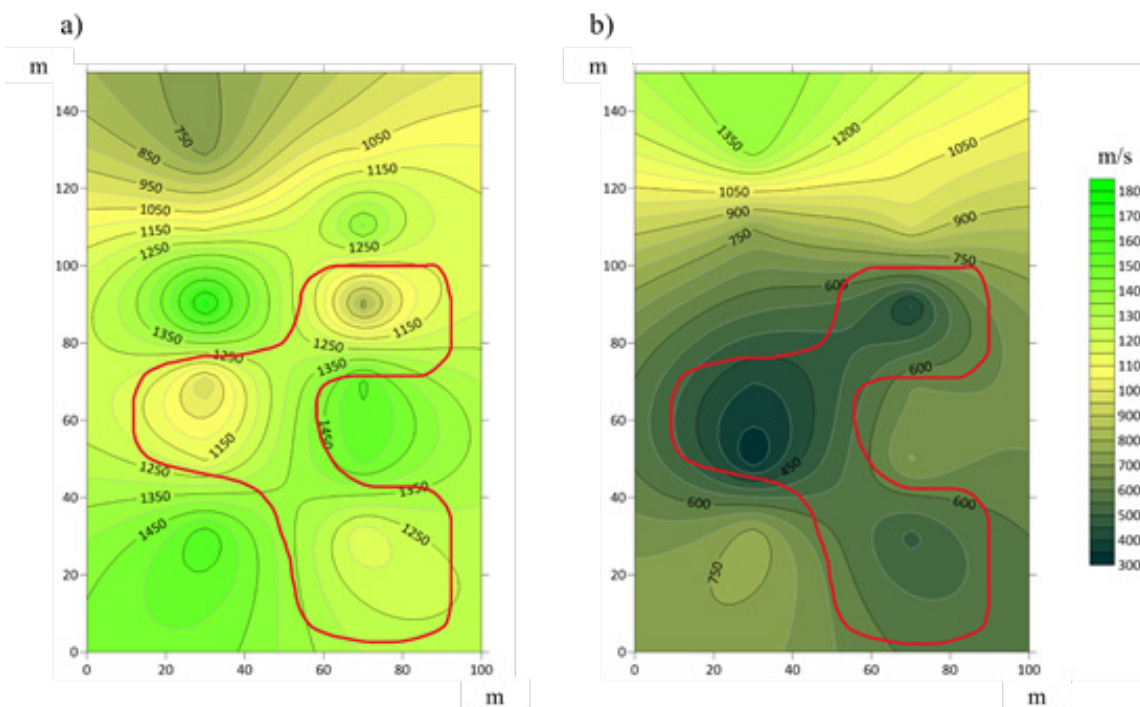


Figura 5. Comparação mapa de cores a) painel com argamassa de revestimento; b) painel sem argamassa de revestimento.

Quadrantes	Com argamassa	Sem argamassa	Diferença
Q1	722	1075	-353
Q2	1053	1397	-344
Q3	1124	965,84	158,16
Q4	1421	754,43	666,57
Q5	1755	391,51	1363,49
Q6	812	572,52	239,48
Q7	951	647,09	303,91
Q8	1565	401,57	1163,43
Q9	1143	706,87	436,13
Q10	1528	307,13	1220,87
Q11	1598	483,19	1114,81
Q12	1149	794,44	354,56
Média	1235,08	708,05	527,03

Tabela 2. Comparação das velocidades ultrassônicas (m/s) em painel com e sem argamassa de revestimento.

influência significativa ao ponto de que as ondas se propagassem apenas em sua superfície, impedindo que as ondas penetrassem mais profundamente e percorressem a camada constituída pelos tijolos de alvenaria.

Como as duas faces estudadas referem-se a mesma parede, só que em lados opostos, foi necessário realizar o espelhamento dos resultados em uma das faces horizontalmente, a fim de que ambas as faces pudessem ser comparadas lado a lado, dessa forma os resultados VPU's para a face sem argamassa de revestimento foram espelhados horizontalmente.

Ao comparar o mapa de cores entre as duas faces do modelo em estudo, Figura 5, é possível estabelecer semelhanças no comportamento das ondas, podendo-se verificar o mesmo padrão em velocidades mais baixas conforme indicado em vermelho, este padrão destacado evidencia que mesmo com a presença da argamassa de revestimento, é possível identificar o mesmo comportamento em padrão das ondas no painel, o que indica que mesmo com a presença da argamassa de revestimento, as ondas ultrassônicas ainda conseguem penetrar nas camadas mais profundas da alvenaria, conseguindo caracterizar o painel como um todo.

Este resultado tem fundamental importância no que se diz respeito à caracterização de painéis de alvenaria com argamassa de revestimento, utilizando o método de propagação ultrassônica pelo método indireto, uma vez que a maioria das edificações apresentam seus painéis revestidos com algum tipo de argamassa de revestimento.

Ainda a fim de entender como estas velocidades são alteradas, realizou-se uma comparação por quadrantes para as VPU's encontradas para ambas as faces do painel. Esta comparação encontra-se na Tabela 2.

Comparando os resultados é possível identificar que a face com argamassa de revestimento apresentou maior média de VPU com 1235,08 m/s enquanto para a face sem argamassa de revestimento apresentou média de 708,05 m/s. Analisando as diferenças individuais é possível perceber que a grande maioria dos quadrantes tiveram uma diferença na velocidade, de maneira que o painel com argamassa de revestimento apresentou um

incremento médio de VPU de 527,03 m/s. Este resultado vai de encontro com as propriedades do material uma vez que a argamassa de revestimento tende a apresentar o uma densidade maior do que os tijolos de alvenaria maciça, sabe-se que as ondas sonoras se propagam mais velozmente em meios densos, favorecendo assim o aumento da velocidade da onda ultrassônica propagada na face com argamassa de revestimento.

Este resultado permite inferir que esse incremento de velocidade dependerá das propriedades da argamassa de revestimento, que podem estar relacionados ao traço utilizado, os materiais constituintes e ainda à espessura desta.

2. Estudo prático na igreja Nossa Senhora da Expectação

Para o estudo de caso, foi realizado o mesmo procedimento aplicado nos painéis do laboratório, mudando apenas as dimensões dos quadrantes, a fim de possibilitar a execução em um maior número de painéis, o que possibilitou a realização do ensaio em grande parte das laterais da edificação, como podem ser verificadas na Figura 6 e Figura 7 abaixo. Os valores das VPU também foram representados na forma de mapa de cores, com isolinhas, esta técnica foi empregada utilizando o software SURFER®, em que realiza uma interpolação dos valores de velocidades pontuais, e distribui estas a fim de se obter uma região com valores das VPU, possibilitando uma comparação mais visual dos comportamentos desta na superfície do painel.

De forma geral, a média das VPU's realizadas em todos os 16 painéis a 0,75 m de altura foi de 1052,16 m/s, enquanto as médias das alturas de 1,25 m e 1,75 m foram 786,72 m/s e 726,31 m/s, respectivamente. Tendo como referência a média da velocidade ultrassônica em 0,75 m, os valores das VPU's em 1,25 m e 1,75 m apresentaram uma redução média de 25,23% e 30,97% respectivamente. Comportamento semelhante das velocidades ultrassônicas observadas em (MESQUITA et al., 2018) e (BINDA et al., 2001).

Quando os painéis de alvenarias maciças de blocos cerâmicos estão com sua camada de revestimento bem ade-

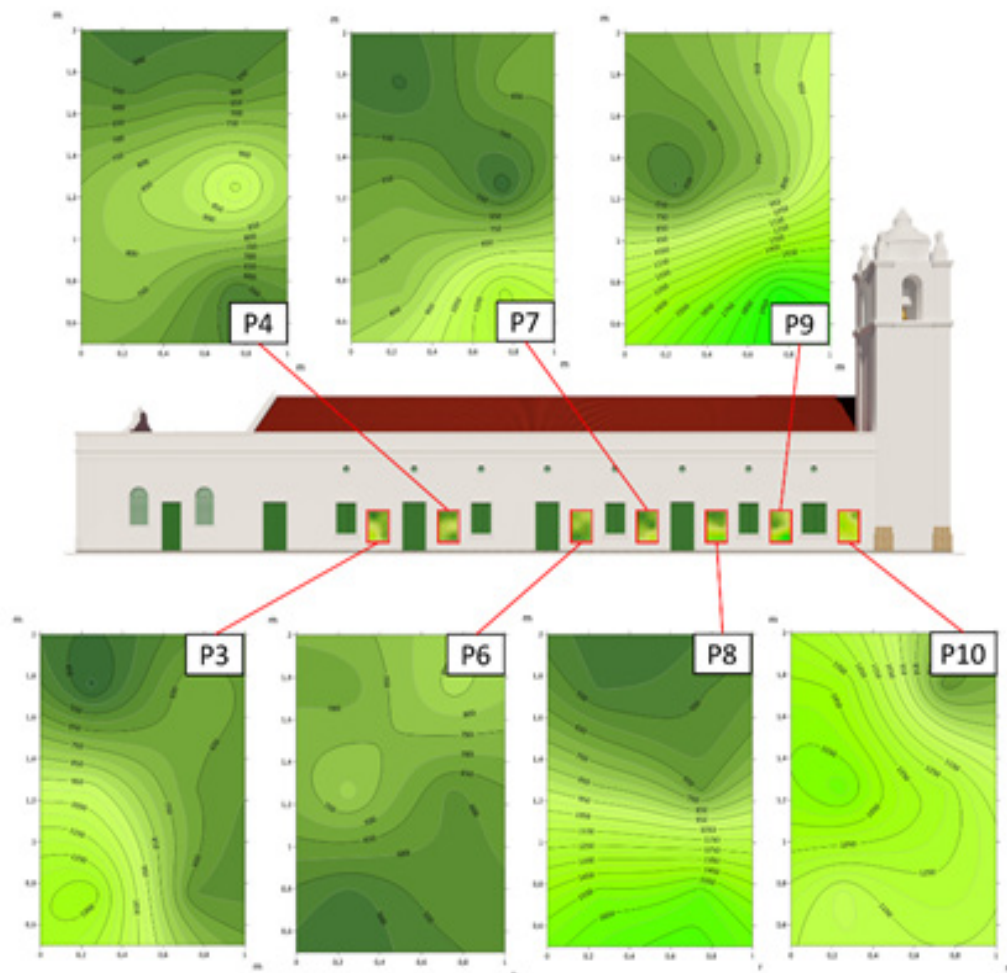


Figura 6. Resumo das VPU's da fachada Nordeste da Igreja de Nossa Senhora da Expectação.

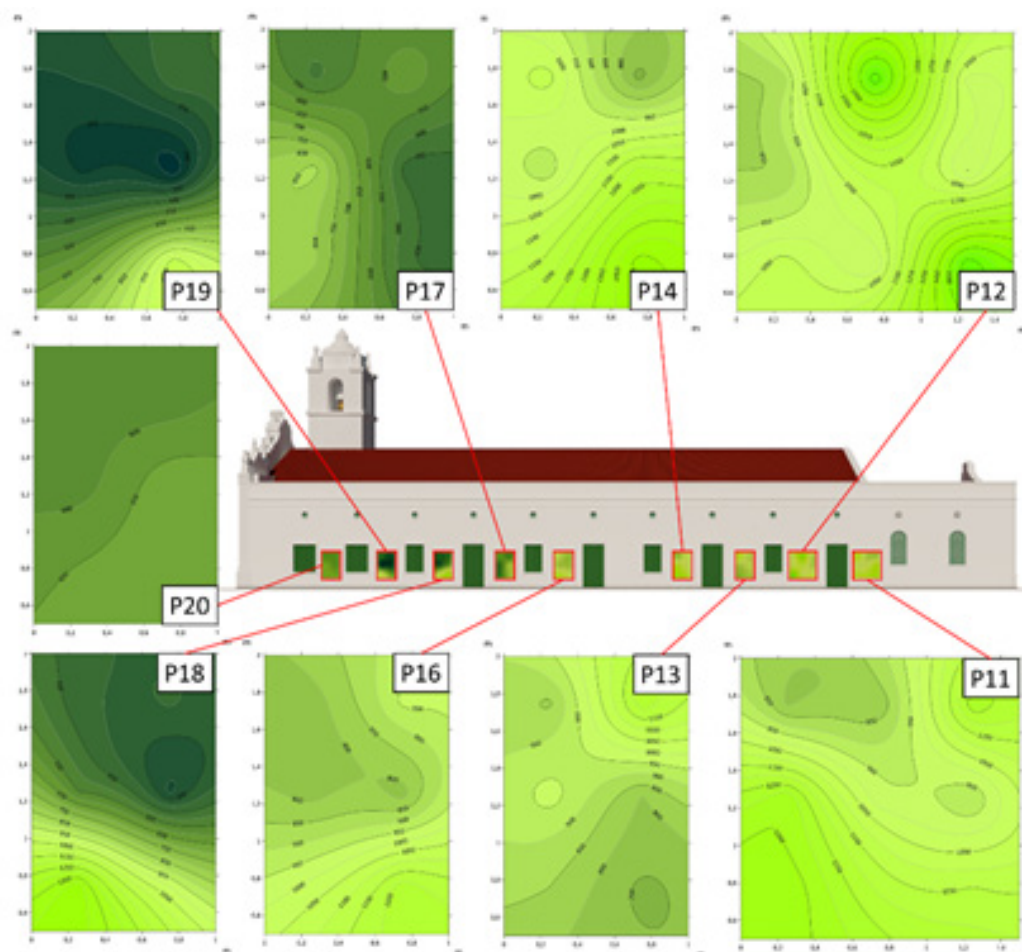


Figura 7. Resumo das VPU's da fachada Sudoeste da Igreja de Nossa Senhora da Expectação.

ridas, e quando estes não apresentam efeitos de confinamento, aberturas ou de elementos rígidos em sua proximidade, às VPU's tendem a apresentarem valores maiores na região da base da parede, diminuindo gradativamente à medida em que o painel avança em altura. Esse comportamento ocorre diante de uma maior quantidade de esforços atuando sobre as partes mais baixas dos painéis, grande parte desses esforços é resultante do próprio peso da estrutura, resultando em uma zona com maior rigidez, e conseqüentemente, VPU's mais elevadas, similarmente ao trabalho de Manning (2014).

A fim de melhor entender esta variação progressivas das velocidades, e a correlação desta com a variação das tensões atuantes, foi realizada uma modelagem numérica de uma parede de alvenaria submetida aos esforços normais, o resultado das tensões encontrados encontram-se na Figura 8.

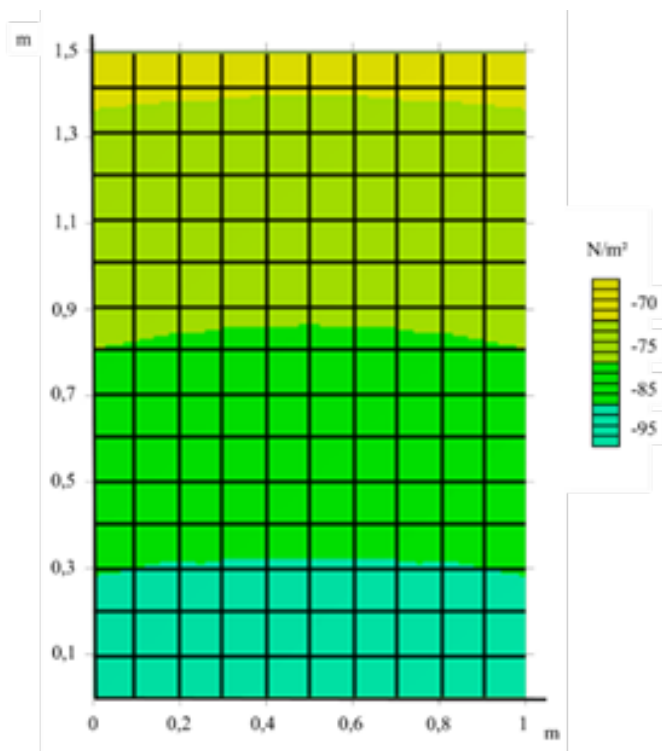


Figura 8. Esforços normais do peso próprio em um painel de alvenaria.

É possível notar a variação de tensões atuantes entre as alturas de 0 a 1,5 m, onde na base do modelo, as tensões são próximas de 95 N/m² de compressão, enquanto na altura 1,5 m essas tensões reduzem para 70 N/m². É importante ressaltar que a parede de alvenaria modelada tinha altura total de apenas 2 m, para situações reais, com adição de carregamentos de telhado e demais estruturas presentes na edificação, essas tensões são ainda mais altas, e a variação destas também são alteradas.

Diante deste resultado, é esperado uma diminuição das velocidades médias à medida em que os pontos de medição se elevam em altura. Este mesmo comportamento foi verificado por Mesquita (2018), com o auxílio do modelo numérico, torna-se ainda mais visível este padrão de comportamento. O mapa de cores para o comportamento característico das VPU para um painel bem aderido pode ser identificado na Figura 9, foi elaborado, calculando-se a média das VPU's para as alturas de 0,75,

1,25 e 1,75m dos 16 painéis. Logo, é possível identificar as velocidades médias presentes nos painéis, assim como a variação destas.

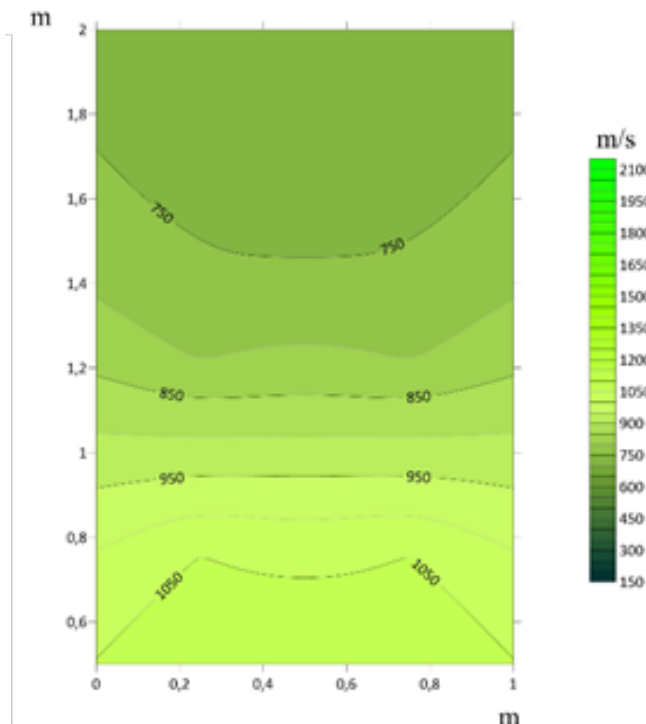


Figura 9. Mapa de VPU's para o comportamento padrão.

É possível notar a variação de tensões atuantes entre as alturas de 0 a 1,5 m, onde na base do modelo, as tensões são próximas de 95 N/m² de compressão, enquanto na altura 1,5 m essas tensões reduzem para 70 N/m². É importante ressaltar que a parede de alvenaria modelada tinha altura total de apenas 2 m, para situações reais, com adição de carregamentos de telhado e demais estruturas presentes na edificação, essas tensões são ainda mais altas, e a variação destas também são alteradas.

A partir destes resultados e confrontando os trabalhos de Mesquita (2018), Manning et al. (2014) e Turgut et al. (2008), de maneira geral, para painéis argamassados, admitindo-se que o revestimento esteja bem aderido, as VPU tendem a apresentar uma faixa de variação entre 1200,00 m/s e 3000,00 m/s nas alvenarias, variando nesta faixa de acordo com a densidade do material. Em alvenarias que utilizam cal em sua composição, estes valores tendem a estar mais próximos de 1200m/s, enquanto em alvenarias de blocos maciços com argamassas de cimento, as VPU tendem a apresentar uma velocidade mais elevadas, próxima dos 3000,00 m/s. No entanto, nas argamassas de cal, as VPU tendem a se propagarem de modo mais devagar, entre 600,00 e 1000,00 m/s. Portanto, à medida em que a onda ultrassônica se propaga ao longo de um painel de alvenaria com revestimento bem aderido, maiores serão suas VPU's, enquanto nos pontos em que há um destacamento do revestimento, a onda ultrassônica tende a ter velocidade de propagação mais próxima da faixa de variação da argamassa. Ainda há que notar, que a irregularidade nas camadas de argamassa de assentamento e presença de fissuras atenua ainda mais esta velocidade, sendo possível a obtenção de valores mais baixos ainda que os 600,00 m/s.

Buscando entender como estes padrões de distribuição

das VPUs se correlacionam com as manifestações patológicas e os diferentes arranjos de tensões existentes nos painéis, foram selecionados para estudo neste trabalho apenas os painéis que foram apontados com maior relevância, com presença conhecida de manifestações patológicas e comportamentos destoantes do padrão, conforme o trabalho de Araújo E. et al (2021), os quais seguem.

Ao analisar o mapeamento realizado para o painel P10, Figura 10, nota-se um comportamento diferente dos demais, tem-se velocidades com valores elevados distribuídos em toda a seção em estudo, com a região com maiores VPU's localizado a uma altura de 1,25 m. Essa distribuição das velocidades pode ser explicada por dois fatores peculiares deste painel, ele está localizado ao lado do pilar pertencente a torre da igreja e a parte posterior está acoplada à estrutura da escada que dá acesso ao couro e a torre da igreja, contribuindo para uma mudança no rearranjo das forças de compressão e tração deste painel, e conseqüentemente provocando maiores

valores de VPU's.

O resultado do mapeamento para os painéis P11 e P12, Figura 11 e Figura 12, os quais apresentam a presença de uma parede intercomunicação em sua parte interna à igreja, mostra que não houve grandes variações nas velocidades, bem como a presença de velocidades mais elevadas mesmo em cotas mais altas. Estas velocidades mínimas, são as maiores dentre os demais painéis, desta forma verifica-se a influência causada pela presença da parede conectada à seção de estudo.

O mapeamento do Painel P17, Figura 13, apresenta uma peculiaridade no comportamento das VPU's quando comparada aos demais painéis. Observa-se uma grande variação das VPU's na direção X, e valores bem abaixo das médias. Algumas hipóteses para este comportamento são, a parede apresenta uma falha estrutural, possivelmente uma fissura, causando uma desconexão entre duas regiões e, conseqüentemente, velocidades distintas em um mesmo painel, este comportamento também

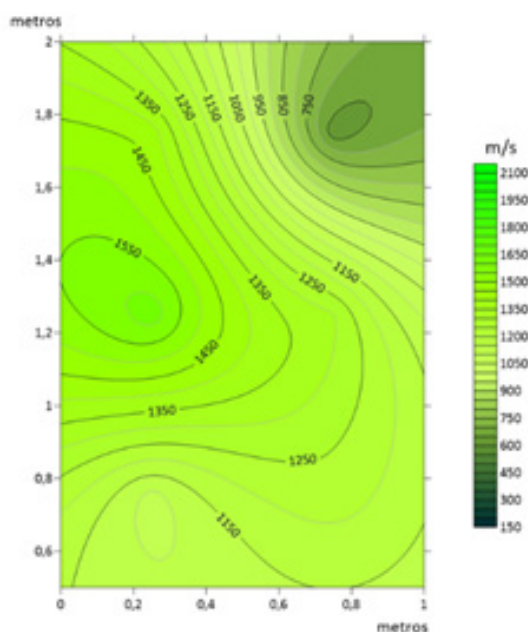


Figura 10. Mapeamento das velocidades ultrassônicas (m/s) do painel P10.

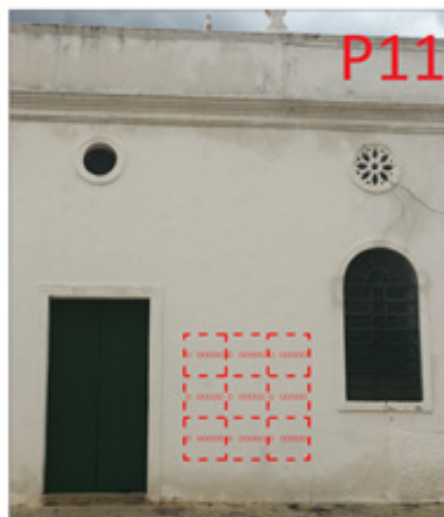
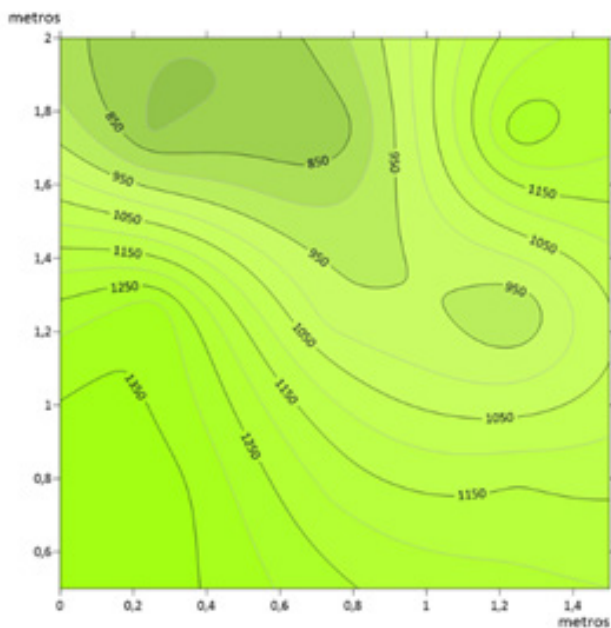


Figura 11. Mapeamento das velocidades ultrassônicas (m/s) do painel P11.

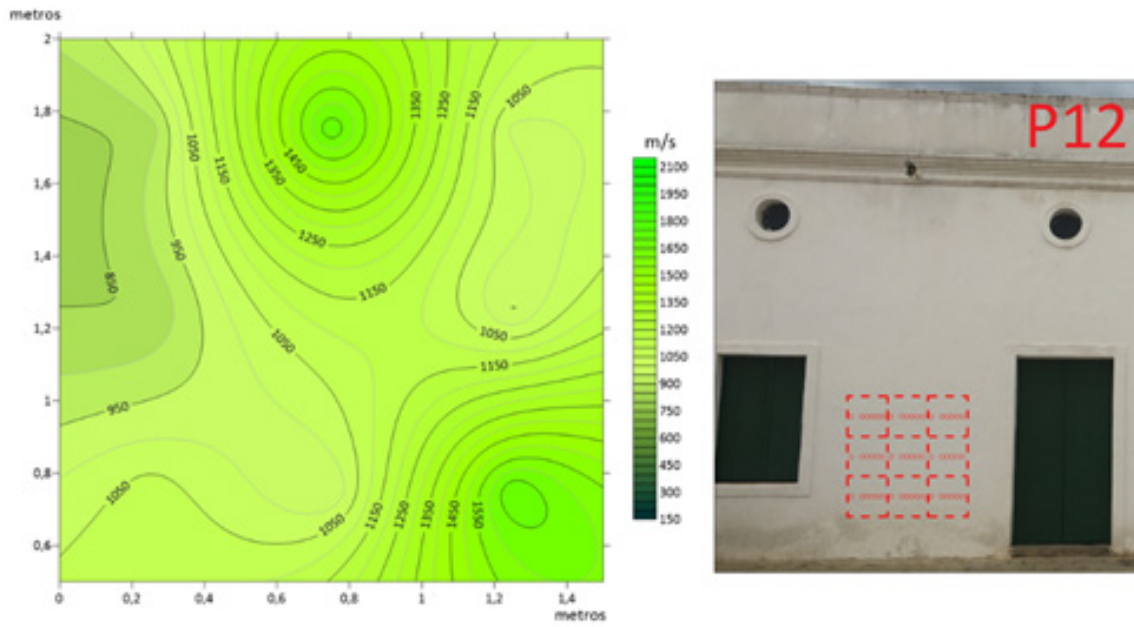


Figura 12. Mapeamento das velocidades ultrassônicas (m/s) do painel P12.

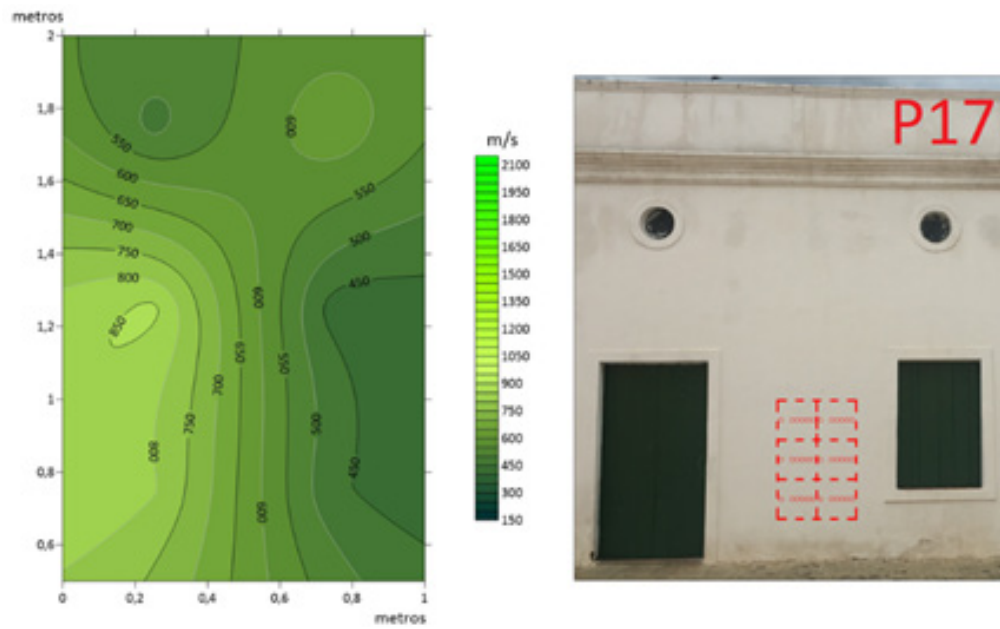


Figura 13. Mapeamento das velocidades ultrassônicas (m/s) do painel P17.

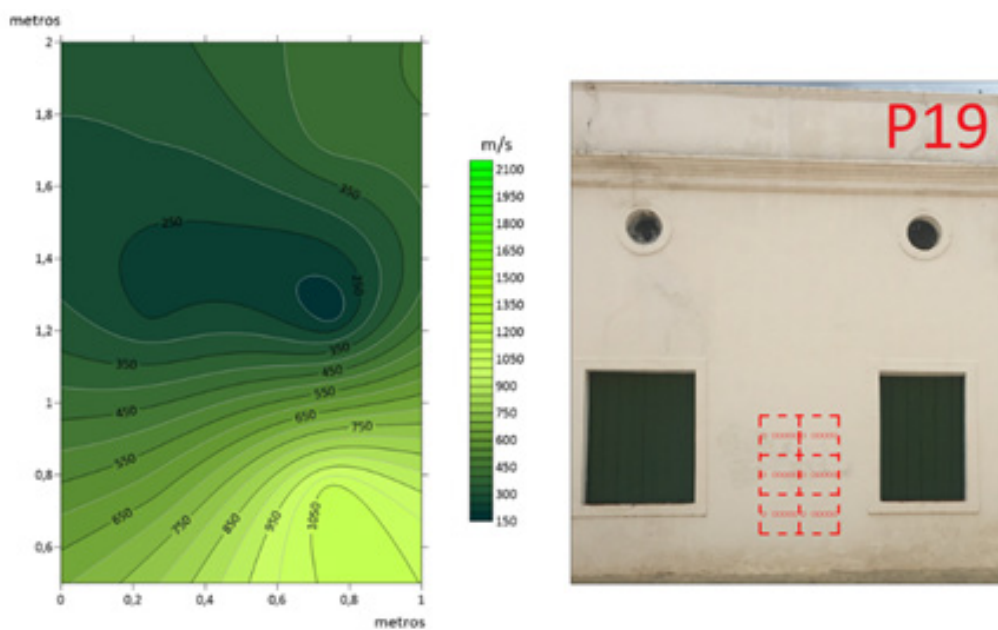


Figura 14. Mapeamento das velocidades ultrassônicas (m/s) do painel P19.

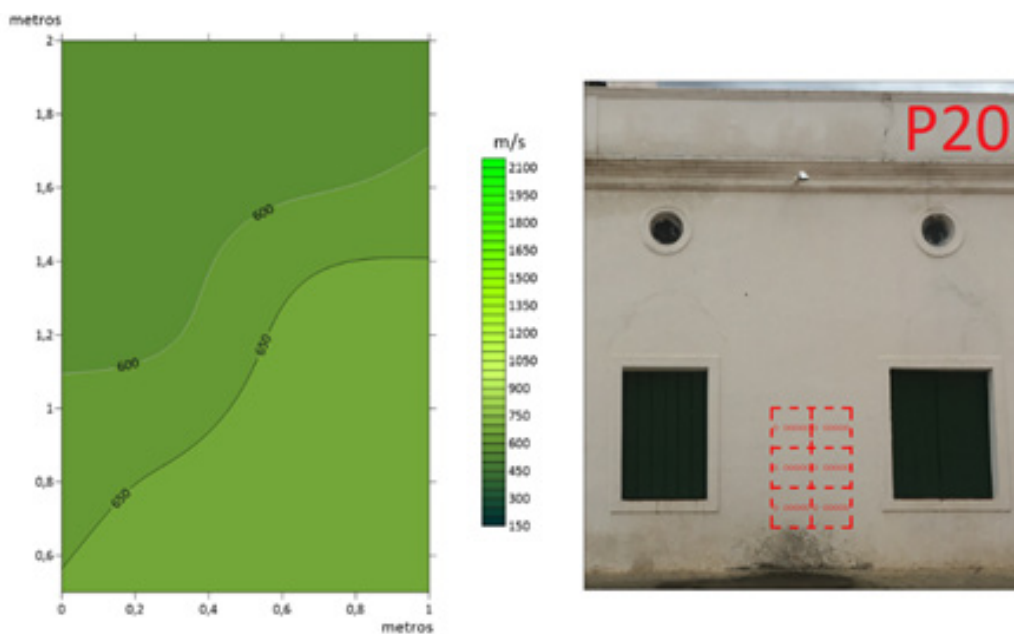


Figura 15. Mapeamento das velocidades ultrassônicas (m/s) do painel P20.

pode estar ligado a aplicação de diferentes materiais, ou ainda de diferentes épocas construtivas, resultando nas diferenças de velocidade em uma mesma seção separadas por uma linha vertical, a mesma que divide os materiais distintos.

Para o painel P19, Figura 14, foi verificado apenas uma fissuração localizada situada por volta da cota 1,25 m, esse resultado pode ser verificado no mapeamento deste, onde é notório uma zona com VPU's mais baixas a essa altura de 1,25 m, esse comportamento localizado é condizente com a zona onde foi identificado em loco com a presença de fissuras na argamassa de revestimento. O painel também apresentou baixos valores de VPUs quando comparada aos demais painéis, sendo a menor velocidade encontrada em todos os painéis.

Já o mapeamento do painel P20, Figura 15, mostra um resultado bem diferente dos demais, com VPU's quase que constante em toda sua extensão, com uma velocidade média de 626,11 m/s. Esse resultado é reflexo da fissuração encontrada que se estende por toda sua área, uma hipótese deste comportamento constante, é que a argamassa não está bem aderida às alvenarias, de maneira que as ondas se propagam apenas na camada da argamassa de revestimento, resultando neste comportamento constante em todo o painel. Ao analisar a Tabela 2 novamente, é possível ver que a seção P20, apresentou o menor máximo de VPU entre os demais painéis, com apenas 689,00 m/s, outro fator que chama atenção, para este painel, está na grande homogeneidade do mesmo, apresentando um baixo desvio padrão das VPU's. Desta forma percebe-se que uma máxima do painel bem abaixo da média, assim como um baixo desvio padrão também são indicadores de possibilidade da presença de fissuras da argamassa de revestimento em painéis de alvenaria com tijolos maciços.

3. Propagação da VPU em painéis com presença de manifestações patológicas

A partir dos resultados encontrados nos estudos em laboratório, e posteriormente com a aplicação dos conhecimentos adquiridos em campo, é possível estabele-

cer algumas hipóteses de como as ondas se propagam em painéis com diferentes manifestações patológicas e como estas interferem nas VPU's encontradas. Para melhor demonstrar as hipóteses estabelecidas, foi realizada uma seção em um painel de alvenaria a qual está submetida ao ensaio de propagação do pulso ultrassônico pelo método indireto, como pode ser identificado na Figura 16.

No esquema estabelecido acima, é possível verificar que o transdutor transmissor, emite as ondas que se propagam em todas as direções no interior do painel, percorrendo inicialmente a camada de revestimento, e logo depois se propagando nos tijolos maciços até chegar na posição do transdutor receptor.

Dessa forma pode-se estabelecer o esquema de propagação da onda em uma parede de alvenarias de tijolos maciços com argamassa de revestimento bem aderida, Figura 17, onde a onda consegue percorrer toda a região superficial e profunda do painel, conseguindo realizar a caracterização do mesmo como um todo. Para painéis sem danos como este, espera-se encontrar mapas de VPU conforme o comportamento padrão médio encontrado, Figura 10.

Durante o estudo de caso também foram encontrados painéis com manifestação de fissuras superficiais na argamassa de revestimento, onde se encontrou VPU's mais baixas nas regiões específicas com a presença destes danos, como no painel P19. Logo pode-se inferir que a presença das fissuras dificulta a propagação das ondas de maneira superficial, forçando a onda a se propagar em camadas mais profundas, resultando em um percurso maior e conseqüentemente velocidades mais baixas, este esquema pode ser verificado na Figura 18, onde pode ser notado a perda de capacidade das ondas se propagarem nas camadas superficiais.

Por último, também foi encontrado painéis com configurações bem específicas das VPU's, em que se mostraram bastante homogêneas, como o resultado encontrado no painel P20, a principal hipótese para este comportamento deve-se ao fato do sistema apresentar pouca aderência

entre a argamassa de revestimento e o substrato, dessa forma a onda se propaga apenas nas camadas mais superficiais, resultando em uma VPU constante, sendo esta característica apenas da argamassa de revestimento, que para argamassas de cal presente na edificação em estudo, em torno dos 600,00 m/s ou abaixo deste valor. O esquema da VPU para este tipo de dano está melhor ilustrado na Figura 19.

Conclusão

Considerando que cada material possui uma velocidade

de característica de VPU, variando de acordo com sua densidade e homogeneidade, a existência de danos ou estruturas distintas dos padrões do material analisado apresenta influência na VPU medida. Assim, a aplicação de VPU para se caracterizar as propriedades de alvenarias pode ser uma ferramenta de grande utilidade no processo e caracterização das construções históricas, quando identificados os padrões típicos de comportamentos da onda ultrassônica. A identificação de padrões de propagação ultrassônica em alvenarias além de poder ser utilizado para a identificação de anomalias num pai-

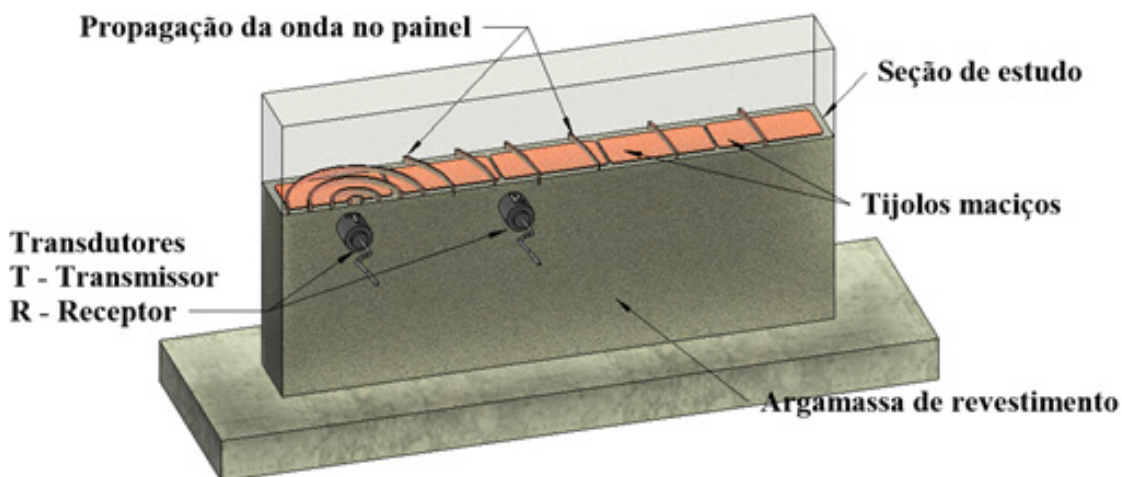


Figura 16. Seção de estudo, propagação da VPU.

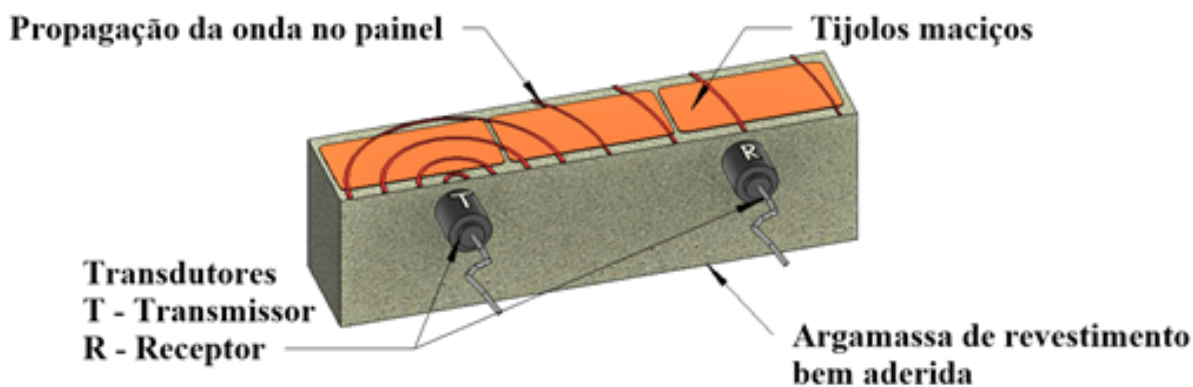


Figura 17. Propagação da onda em um painel com argamassa de revestimento bem aderida.

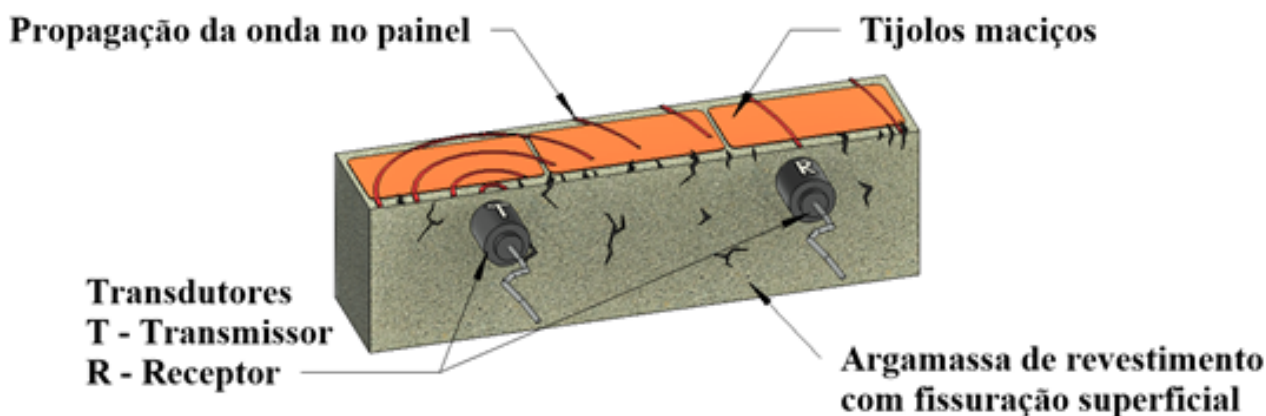


Figura 18. Propagação da onda em um painel com argamassa de revestimento fissurada.

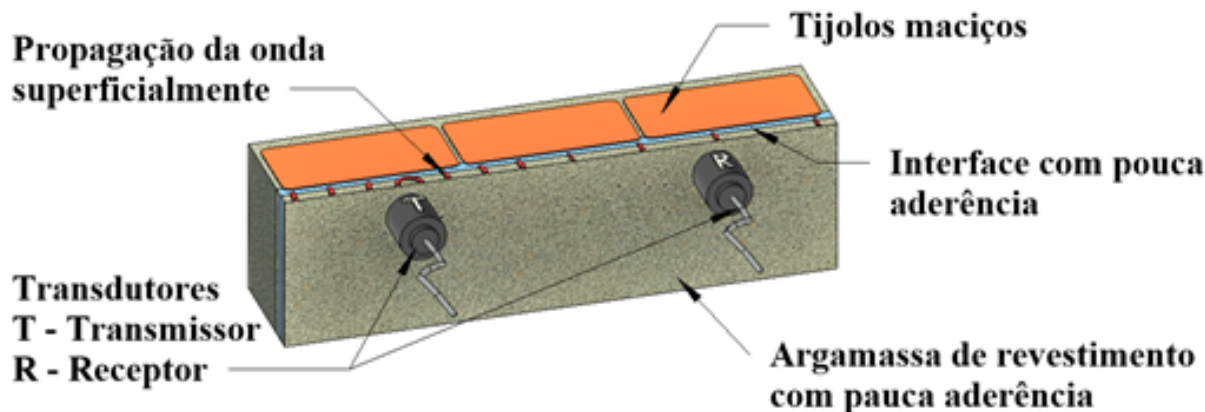


Figura 19. Propagação da onda em um painel com pouca aderência na argamassa de revestimento.

nel, também pode servir como base para comparação da distribuição das VPU ao longo de uma edificação, por exemplo, para indicar se todas as alvenarias apresentam método construtivo similar.

Os resultados deste trabalho indicam 5 comportamentos típicos de VPU em painéis de alvenarias, nomeadamente:

- Em painéis de alvenaria de tijolos maciços com argamassa de cal, e revestimento argamassado de cal, com espessura não superior a 1,5 cm, quando não sob o efeito de confinamento, de elementos rígidos, ou sob o efeito de aberturas nas margens do painel, como janelas e portas, as ondas ultrassônicas apresentam VPU's maiores na base da seção em estudo, sendo sua velocidade decrescente à medida em que a altura avança, como o encontrado no comportamento médio padrão dos painéis, Figura 9;
- Para o caso de presença de fissuras não generalizadas nos revestimentos argamassados em alvenaria de tijolos maciços, as regiões com a presença de fissuras e/ou falta de aderência entre a argamassa de revestimento e as alvenarias, apresentam velocidades de propagação mais próxima da faixa típica das VPU argamassas, no caso de argamassas de cal (entre 600,00 m/s e 1000,00 m/s), sendo que as demais áreas do painel apresentam valores de VPU de acordo com o comportamento padrão de distribuição ultrassônica, conforme pode ser encontrado na seção P19, Figura 14;
- A situação de fissuração generalizada e ausência de aderência nos revestimentos argamassados em alvenaria de tijolos maciços, faz com que as ondas ultrassônicas se propagam de modo quase constante, e apenas na superfície do revestimento, com valores característicos da VPU típico ao das argamassas de cal, essencialmente entre 600,00 m/s e 1000,00 m/s, podendo estes valores serem atenuados pela presença de fissuras e vazios. Além da distribuição homogênea de velocidades no painel, visivelmente notório nos mapas de cores, este resultado também pode ser identificado ao analisar o baixo desvio padrão quando comparado a média dos demais, este comportamento pode ser verificado no painel P20, Figura 15.
- A existência de falhas estruturais, mudança de mate-

riais e/ou época interligadas por argamassa em um mesmo painel, ainda que recoberta por argamassa sem presença de fissuras, apresentam distribuição de velocidades de maneira heterogêneas ao longo de uma linha, sendo esta onde ocorre a mudança descrita, resultando em arranjos que se destacam pela diferenciação da VPU ao longo de uma linha vertical, como o comportamento encontrado no painel 17, Figura 13.

- A presença de elementos estruturais como paredes, pilares ou ainda escadas engastadas em partes posteriores de painéis para tijolos de alvenaria com argamassa de cal, tendem a apresentar valores de VPU acima do esperado para o conjunto argamassa/tijolo, em cotas mais altas diferente do esperado para o comportamento padrão, essas velocidades variam em torno de 1500,00 m/s, podendo apresentar valores maiores, este comportamento pode ser encontrado nos painéis P10, P11 e P12, Figura 10, Figura 11 e Figura 12 respectivamente.

Ademais, este trabalho abre espaço para demais comportamentos a serem investigados a respeito da interpretação das VPU's obtidas pelo método indireto em painéis argamassados, como a verificação do incremento de velocidades causados por argamassas de revestimentos de diferentes espessuras e traços, a fim de parâmetrizar e complementar o resultado obtido com os painéis modelos em laboratório, onde verificou-se que a argamassa de revestimento não impede a caracterização de um painel de alvenaria, apenas adiciona um incremento médio de velocidade nas VPU's.

Por fim, este trabalho introduz uma nova visão na forma de interpretação dos resultados do ensaio ultrassônico pelo método indireto, que ao longo das últimas décadas a literatura insistiu na observação dos valores das velocidades, sem consideração do padrão de distribuição. A observação de padrões de comportamento das VPU torna possível a caracterização de materiais heterogêneos, abrindo caminho para uma linha de estudos no âmbito das alvenarias, especialmente as históricas.

Referências

1. ABNT, NBR 8802 - Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Brasil, p. 8, 2019.

2. ABNT, NBR 16805 – Ensaios não destrutivos – Ultrassom – Caracterização de painéis por velocidade de propagação de onda ultrassônica. Brasil, 2020.
3. BINDA, L.; SAISI, A.; TIRABOSCHI, C. Application of sonic tests to the diagnosis of damaged and repaired structures. *NDT & E International*, v. 34, n. 2, p. 123–138, mar, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0963-8695\(00\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0963-8695(00)00037-2)
4. BUNGEY, J. H., *The testing of concrete in structures*, 2 ed. London, Surrey University Press, 1989.
5. F. Brandão, *CARACTERIZAÇÃO DINÂMICA DE UM EDIFÍCIO HISTÓRICO DO SÉCULO XIX*, Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CB-PAT, no. April, pp. 1–12, 2016.
6. FIGUEIREDO, E. P. Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência, Fissuras e Deformações. In: ISAIÁ, G. C. (Ed.). *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005.
7. ICOMOS. *Princípios para análise, conservação e restauração estrutural do patrimônio arquitetônico*. 14.ª Assembléia Geral do ICOMOS, Zimbábue, 2003.
8. J. L. Delgado, “Avaliação sísmica de um edifício crítico em alvenaria” Instituto Técnico de Lisboa, 2013.
9. MANNING, E. et al. Direct Sonic and Ultrasonic Wave Velocity in Masonry under Compressive Stress. 9th International Masonry Conference, Guimarães, 2014.
10. MARTINI, R. J.; *Caracterização de alvenarias de granito baseada em técnicas*
11. *geofísicas, mecânicas e redes neuronais*. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2019.
12. MESQUITA, E. et al. Non-destructive characterization of ancient clay brick walls by indirect ultrasonic measurements. *Journal of Building Engineering*, v. 19, n. May, p. 172–180, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.05.011>
13. Mesquita, E., Martini, R., Alves, A. et al. Heterogeneity detection of Portuguese–Brazilian masonries through ultrasonic velocities measurements. *J Civil Struct Health Monit* 8, 847–856, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13349-018-0312-5>
14. MESQUITA, et al. Long-term monitoring of a damaged historic structure using a wireless sensor network. *Engineering Structures*, v. 161, n. February, p. 108 - 117, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.02.013>
15. Ministero delle Infrastrutture, “NTC 2008-Decreto Ministeriale 14/1/2008”, 2008.
16. MIRANDA, L.F.B. *Ensaios acústicos e de macacos planos em alvenarias resistentes*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Faculdade do Porto. p. 259, 2011.
17. NAIK, T. R.; MALHOTRA, V. M.; POPOVICS, J. S., *The Ultrasonic Pulse Velocity Method*, CRC handbook on nondestructive testing of concrete, Tarun R. Naik and V M Malhotra eds, CRC Press, pp 169–189, 2004.
18. PUNDIT Manual, CNS Eletronics Ltd., London. p. 76, 1994.
19. TURGUT, P. Properties of masonry blocks produced with waste limestone sawdust and glass powder. *Journal of Building Engineering*, v. 22, n. July, p. 1422–1427, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.04.008>
20. VIANA, Francirton Josino. *Ícô: Seu patrimônio, conhecer e preservar*. 23 f. TCC (Graduação) - Curso de História, Centro de Educação, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.
21. ARAÚJO EMANUEL. et al. A New Approach for Assessment of the Coating Mortar Adherence in Ancient Masonries Through Ultrasonic Data. In: Delgado J. (eds) *Case Studies in Building Constructions. Building Pathology and Rehabilitation*, vol 15. Springer, Cham, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55893-2_4



Ministerio de Educación

***UTN**

**UNIVERSIDAD
TECNOLOGICA
NACIONAL**

Facultad Regional Concordia

Giicma

Salta 277 - Concordia (ER-ARG) - C.P. E3200EKE
Tel/Fax: (0345) 421-4590 / 422-6614
giicma@frcon.utn.edu.ar
www.frcon.utn.edu.ar