

EMPLEO DE INNOVACIONES TECNICAS EN LA RESTAURACION DE LA ESTRUCTURA MURARIA DE LA IGLESIA BOM JESUS DO LIVRAMENTO EN LA CIUDAD DE BANANAL, BRASIL

Eduardo Salmar y Marcos Tognon

RESUMEN

El edificio, construido a fines del siglo XVIII, la iglesia matriz de la Ciudad de Bananal, Brasil, se presenta como uno de los bienes religiosos edificados mas significativos dentro del contexto histórico del Vale del Paraíba en el Estado de San Pablo. Conservando sus muros originales en ‘taipa de pilon’ o tapial, la iglesia Bom Jesus do Livramento es un ejemplo de los lineamientos que, a lo largo de 2 siglos, presentan las características formales y estilísticas del arte decorativo de la arquitectura de tierra de ese periodo. La restauración de los edificios históricos en Brasil tiene muy pocas referencias documentadas o publicadas y, por esta razón, este trabajo intenta configurar posibilidades comparativas en el ámbito técnico, normativo y ensayos en laboratorio para los procedimientos constructivos con la ‘taipa de pilon’ o tapial.

Palabras clave: Restauración. Investigación. Innovación tecnológica. Experimentación.

EL COLAPSO

Formando parte del núcleo histórico de la ciudad, el monumento religioso fue nominado por el Consejo de Defensa del Patrimonio Artístico Arqueológico y Turístico del Estado, Figura 1. El 23 de julio de 2005, inesperadamente colapsó un área de 32 m² de los muros de la fachada Este, como muestra la Figura 2.



Figura 1. Fachada de la iglesia matriz, Ciudad de Bananal, Estado de San Pablo, Brasil. Agosto 2005.



Figura 2. Area colapsada del muro, fachada Este. Agosto 2005.

La urgencia por intervenir restaurando la estructura muraria de 1 m de espesor y cerca de 10 m de altura, se presentó como una posibilidad interesante para integrar soluciones tradicionales e innovaciones tecnológicas.

MATERIALES Y METODOS

El primer y esencial criterio para la intervención del edificio dañado fue restablecer la armonía estática del muro, ante serios riesgos de la caída de la torre Este y del techado de la iglesia. Frente a este peligro hacia la comunidad, se adoptaron los siguientes criterios para el trabajo, manteniendo:

- a) la dinámica física original del muro con la reposición de bloques monolíticos de tierra apisonada.
- b) el peso original de la estructura colapsada, sin aumentos de carga para las fundaciones.
- c) la composición formal original de la construcción de la iglesia, especialmente los espesores y componentes de madera como pisos y galerías apoyados en los muros colapsados.

Para la reconstrucción del tapial ‘taipa de pilon’, además de la búsqueda y evaluación de la tierra de la localidad, se tuvo fundamentalmente en cuenta aumentar los índices de resistencia mecánica del muro y, para ello, proponer gran concordancia físico-química en relación con la construcción existente.

De este modo, se emplearon aditivos minerales, fibras de polímeros, procedimientos metódicos de compactación, alterando la plasticidad y liquidez del material como se mostrará más adelante.

PROCEDIMIENTOS PARA LA RESTAURACIÓN DEL TAPIAL



Figura 3. El proceso de demolición de los bloques de la tapia antigua. Nov. 2005.



Figura 4. Finalización de los trabajos de demolición del área colapsada. Enero 2006



Figura 5. Vista del área colapsada al fin de la tarea de compactación. Abril 2006.

UNION CON LA TAPIA ANTIGUA

En este aspecto se plantearon muchas dudas e inquietudes respecto a la manera de compactar las partes nuevas en contacto con las partes originales de la estructura de capas de tapial (taipa de pilão).

Para la correcta restauración de la estructura muraria de la iglesia en tapial se partió de tener plena conciencia de las limitaciones que plantean las características mecánicas-físico-químicas propias de esta técnica:

- a) No es posible lograr un ‘pegado’ químico entre materiales nuevos y viejos del tapial, pues la estabilidad de los componentes minerales de las partes originales no permiten procesos, tanto con humedad de ‘fusión’ molecular o anclajes cementicios, teniendo en cuenta que la mayor parte de las partículas minerales son granulometrías variadas de cuarzo.
- b) El uso de procedimientos mecanizados de apisonamiento no permite lograr una verificación gradual del proceso de densificación de las argamasas y la consecuente verificación del estado de humedad y de compactación.
- c) Como la estructura del tapial es básicamente un conjunto de inertes aglutinados por la arcilla, formando grandes bloques estabilizados, prensados en capas, siempre con el máximo respeto por la plomada vertical, en tamaño y dimensionamiento (el módulo elástico del conjunto de materiales del tapial es muy limitado), la solución del ‘encastre’ entre lo nuevo y lo antiguo se hace con el empleo de dientes cortados en los bordes de la masa muraria, Figuras 3 y 4, formando gran cantidad de entrantes y salientes, tanto en sentido vertical como horizontal. Ello permite una perfecta acomodación o unión entre los dientes, como en los engranajes, a fin de lograr una adecuada ligazón entre las partes nuevas apisonadas y las partes originales ya estabilizadas.
- d) Se emplearon capas de varios tamaños y dimensiones y se estableció un protocolo de apisonamiento en diagonal, entre 60 y 75 grados de inclinación, para todas las áreas de contacto vertical, y así se fue unificando el tapial nuevo con las bases de tapial original.

CONOCER LA TIERRA DE LA IGLESIA ORIGINAL

En septiembre de 2005 se extrajeron muestras de los materiales empleados en el revestimiento y la construcción de la tapia original, para hacer ensayos de laboratorio:

Muestra 1. Fachada Este: argamasa de asentamiento del sellado externo del muro.

Muestra 2. Fachada lateral Este: trozo de muro de tierra, cara externa.

Muestra 3. Fachada Este: en el punto de la ruina.

La Tabla 1 indica los resultados de los análisis granulométricos, realizados en el Laboratorio de Sistemas Constructivos de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo de la UNIMEP, según la Normativa Técnica Brasileña NBR 7181.

Tabla 1. Características de las muestras de tierra seleccionadas del edificio a restaurar.

Muestra	Peso gm.	Tenores de arcilla + limo (%)	Tenores de arena (%)
1	696,82	8,02	91,97
2	661,46	15,44	84,55
3	516,47	6,32	93,66

CONOCER LA TIERRA DE LA LOCALIDAD

En noviembre de 2005 se realizó la recolección de muestras de tierras a emplear en la restauración del muro, teniendo en consideración que la elección de los sitios debía permitir el acceso de máquinas y camiones, por el carácter montañoso de la región. Siguiendo este criterio, se escogieron los yacimientos para extraer las muestras y se realizaron con ellas los siguientes ensayos granulométricos y de retracción:

- **Ensayos de retracción:** se empleó el conocido ‘ensayo de caja’, indicado para medir el límite de retracción de la muestra, donde el máximo admisible es de 20 mm, siendo necesario hacer correcciones cuando se sobrepasa este máximo.
- **Análisis de granulometría:** según las Normativa Brasileña NBR 7181 y la Normativa Complementaria NBR 5734.
- **Especificación de tamices:** según la Normativa NBR 6457 para la preparación de muestras de suelos para ensayos.

De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados, indicados en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de las tierras locales: retracción y análisis de granulometría.

Origen de la Muestra	Retracción total (mm)	Peso total de la muestra (gm.)	% de de arcilla y limo (%)	% de arena fina/média/gruesa
Capuava	42	737,76	16,25	83,73
Boa Vista	36	1130,57	8,15	91,83
Formigas	65	1019,69	10,55	89,43
Cerâmica, barranco alto	51	1014,10	15,05	84,93
Cerâmica, barranco bajo	38	1021,47	23,11	76,87

COMPOSICIÓN FINAL DE LA TIERRA PARA LA RECONSTRUCCION

A partir de los ensayos se obtuvo una mezcla con 2 suelos para lograr los tenores de arcilla y arena ideales para la compactación, sin efectos perjudiciales sobre la estructura. El uso de cal en esta mezcla aporta propiedades de estabilización en algunos suelos, obteniendo reacciones semejantes a las que ocurren con cemento, además de la reacción normal de carbonitación. Como esta reacción es limitada, considerando que depende de la presencia de CO₂ atmosférico en el interior de la muestra, la mayor contribución de la cal en este caso, es su capacidad de reaccionar con los minerales arcillosos. A fin de aumentar la resistencia del tapial a los esfuerzos de flexión, se empleó una fibra sintética de polipropileno corrugado de 50 mm de extensión, conocida como POLYCRET CR, para los casos de encastre de los nuevos tapiales con los antiguos.

Tabla 3. Composición de la mezcla para el tapial nuevo.

Muestra Cerâmica barranco alto	Muestra Cerâmica barranco bajo	Cal	Fibras sintéticas	Agua
180 litros	48 litros	4 litros	1 litro	10 litros, variable

Barro reforzado. En la restauración se encontraron muchos espacios vacíos en la pared antigua con total imposibilidad de lograr buena compactación con pisones y, para rellenarlos, se empleó un barro reforzado. Con escasos estudios del empleo de este material en Brasil, se buscaron fundamentos en trabajos sobre el empleo de suelo cemento, llegando así a una mezcla muy plástica con adición de una cola blanca marca NORQUITACK con agregado de fibras sintéticas.



Figura 6. Unión de vacíos con barro reforzado.



Figura7. Textura acabada.

Tabla 4. Proporciones empleadas de materiales en la mezcla de barro reforzado.

Muestra y origen	Cola Blanca	Fibras sintéticas	Agua
Cerâmica barranco alto	NORQUITACK	POLYCRET CR	
48 litros	6 litros	½ litro	36 litros

PROCESO DE COMPACTACION

El control de compactación del tapial o ‘taipa de pilon’ se puede realizar de modo simple e intuitivo por el sonido del pisón al pegar en la tierra compactada. Un factor fundamental para el control de la compactación es el espesor de las capas de mezcla dentro de los encofrados.

También es muy importante considerar la posición del obrero durante la compactación para la ejecución del tapial. Se emplearon pisones de madera con cabo cilíndrico de 2,5 a 4,5 Kg de acuerdo con la siguiente secuencia de apisonamiento, indicado en Tabla 5.

Tabla 5. Programación para uso de los pilones en la obra.

Secuencia del apisonamiento	Peso Total del pisón (Kg)	Dimensiones de los pilones en planta (cm)
Primera acomodación de la capa de tierra con ligera presión.	2,5	30 x 30
Apisonamiento de punta con presión.	3,5	20 x 15
Apisonamiento y achatamiento con presión fuerte.	4,5	20 x 20
Apisonamiento de punta con presión fuerte creando textura de encastre para la capa superior.	3,5	20 x 15
Apisonamiento en los cantos laterales para encastre con el tapial antiguo.	2,5	10 x 15



Figura 8. Todos los pilones empleados en la compactación y sus dimensiones, Tabla 6.

EL APARATO CONSTRUCTIVO PARA EL TAPIAL o ‘TAIPA DE PILÃO’

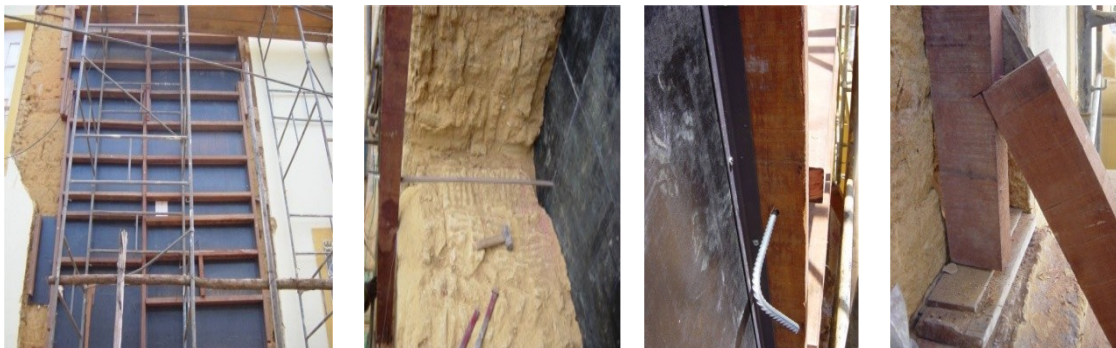


Figura 9. Los equipamientos empleados para la compactación.

a). Encofrados. b). ‘Cabodas’: barras roscadas en acero. c). Fijación de las placas en horizontal. d). Fijación de la estructura principal en la plomada vertical.

Los sistemas constructivos que se emplean en la compactación necesitan encofrados muy resistentes para soportar la fuerza del empuje a ejercer sobre ellos. En esta restauración se emplearon los materiales con las respectivas especificaciones, según se muestra en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6. Especificaciones de los equipamientos empleados.

Materiales	Dimensiones	Función
Placas de madera	1,10 x 2,20 m	Moldes externos e internos del encofrado para compactación.
Cantoneras metálicas	1 pulgada	Transferir el apoyo de placas externas a las guías verticales, facilitando el desmonte de las placas post compactación.
Guías verticales a reusar	Sección 6 x 16 cm	Estructura estática del conjunto para resistir el empuje.
Largueros	Sección 6 x 12 cm	Crear estructuras externas de las placas para evitar la pérdida de verticalidad al compactarse.
Barras roscadas	3/8"	Fijar las guías verticales externas y unir con las internas.
Mariposas roscadas	3/8"	Trabar los largueros con las guías facilitando el desmonte al terminar de compactar.
Caño PVC, separadores	1/2"	Facilitar el retiro de las barras roscadas.

CONSIDERACIONES FINALES

En el trabajo que aquí se presenta, realizado a través de dos años, se ha querido compartir las siguientes conclusiones que, se estima, fueron decisivas para el éxito de la restauración del tapial o 'taipa de pilão' de la iglesia Bom Jesus do Livramento:

- Es importante realizar muchos planos que representen la construcción existente a fin de documentar sus dimensiones y las patologías encontradas con la máxima fidelidad. En este caso, se trabajó con 4 alumnos de la Facultad de Arquitectura durante 6 meses produciendo 52 planos para configurar el Relevamiento Arquitectónico.
- Es fundamental considerar que se trata de un trabajo en equipo multidisciplinar para establecer normativas y procedimientos que permitan diagnosticar las fuerzas mecánicas actuantes en el edificio, antes de empezar las intervenciones propiamente dichas.
- Es muy importante definir y capacitar a los encargados del mantenimiento regular del edificio, respecto a todas las especificaciones de argamasas y tintas para el revestimiento, adecuadas para las paredes de tierra cruda.
- Es fundamental para la comunidad, conocer el punto de vista histórico y cultural del edificio y del trabajo de restauración realizado, y tener todos los registros de las actividades desarrolladas en su ciudad, en su iglesia, y valorar el esfuerzo.
- Finalmente, incorporar lo más importante aprendido: es necesario tener mucha paciencia, cautela, herramientas adecuadas y cuidados extremos con la demolición de los pesados bloques monolíticos de tierra apisonada.

RECONOCIMIENTOS

Especial reconocimiento a la promoción de la restauración, Parroquia Senhor Bom Jesus do Livramento, Comissão dos Festeiros, con el apoyo de la Prefeitura Municipal de Bananal e ELEKTRO, y el equipo de obras compuesto por: Mestre pedreiro Celino Barcelos de Andrade, auxiliares Daniel Pereira, Alberto da Silva Jou y Anderson de Carvalho; equipo de diseño con la coordinación de la Arq. Ana Luisa Negreiros, y el equipo técnico de IPR/UNICAMP, a cargo de los autores.

BIBLIOGRAFIA

- Taveira, E. Salmar Nogueira (1986). *O Solocimento no Campo e na Cidade: construir, morar, habitar*. Editora Ícone, San Pablo.
- CEPED, (1980). *Manual de Construção com Solocimento*. Projeto Thaba, Salvador.
- Bruno, P. (2006). *A conservação de paredes em terra crua - da análise à intervenção prática*, en Houses and Cities built with Earth. Lisboa, Argumentum, ISBN 972-8479-41-7], pp. 55-58.
- Carbonara, G. (org.). (2003). *Trattato di Restauro Architetonico*. Hoepli, Milán.
- Cóias, V. (2006). *Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios*. IST Press, Lisboa.
- Gomide, J. H., Silva, P. R., Braga, S. M. N. (2005). *Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural*. Minc, Monumenta, <http://www.monumenta.gov.br>. Brasília.
- Gonçalves, C. (2007). *Restauração Arquitetônica. A experiência do Sphan en 1937-1975*. São Paulo: fapesp; Annablume, 2007 ISBN 978-85-7419-680-0. San Pablo.
- IBAPE (2002). Norma de Inspeção Predial. Coord. de Milton Gomes. IBAPE, <http://www.ibape-sp.org.br> San Pablo.
- ICOMOS. *Recomendações para Análise, Conservação e Restauração Estrutural do Patrimônio Arquitetônico*. Trad. de S. Puccioni e A. Albuquerque. Brasília.
- IPHAN (2001). <http://www.iphan.gov.br>
- ICOMOS. Earthen Architecture Heritage, Bibliography. Paris: Centro de Documentação de Arquitetura de terra do UNESCO-ICOMOS, 2009. Disponível em Hurd, J. (2006). *Observing and Applying Ancient Repair Techniques to Pise and Adobe in Seismic regions of Central Asia and Trans Himalaya*. California: World Monument Fund.
- Jaquin, P. A., Augarde, C. E., Gerrard, C. M. (2006). *Analysis of Historic Rammed Earth Construction*, en Structural Analysis of Historic Constructions. Org. de P. Lourenço, P. Roca, C. Modena, S. Agrawal. Nueva Delhi.
- Klüppel, G. P., Santana, Mariely Cabral de (coord.). *Manual de Conservação Preventiva para Edificações*. Minc, IPHAN, Programa Monumenta, s.d. <http://www.monumenta.gov.br>, Brasília.
- Lourenco, P. (2005). *Aplicações das recomendações ICOMOS sobre Conservação de estruturas antigas: do elemento construtivo à estrutura global*. Anais 2º Seminário 'A Intervenção no Patrimônio', Lisboa.
- Mondragón, F. P., Lourenco, F. (2006). *Estruturas em Terra: comportamento e patologias* en Houses and Cities built with Earth, Argumentum, pp. 49-51. Lisboa.
- Rilem (2005). *Investigative methods for the characterisation of historic mortars*. Part 1: Mineralogical characterisation. Org. de B. Middendorf, J. J. Hughes, K. Callebaut, G. Baronio e I. Papayianni, en Materials and Structures 38, octubre 2005a, pp. 761-769, <http://www.rilem.net>.
- Rilem (2005). *Investigative methods for the characterisation of historic mortars*. Part 2: Chemical characterisation. Org. de B. Middendorf, J. J. Hughes, K. Callebaut, G., Baronio e I. Papayianni, en Materials and Structures 38, octubre 2005b, pp. 771-780. <http://www.rilem.net>.
- Rocchi, P. (org.), (2004). *Trattato sul Consolidamento*. Mancosu, Roma.
- Santiago, C. (2005) *A terra nos tratados e nos manuais de arquitectura e construção*, en Arquitectura de Terra em Portugal, Argumentum, Lisboa, ISBN 972-8479-36-0, pp.248-251.
- Santos, F. I. G., Rocha, J. C., Cheriaf, M. *Influência da cinza pesada empregada em substituição ao agregado natural nos mecanismos de transferência de umidade em argamassas*, en Revista Materia, vol. 12, n. 2, pp. 253-268.
- Vasconcellos, S. (1978). *Arquitetura no Brasil, Sistemas Construtivos*.: IPHAN, UFMG, FUNDEP, Belo Horizonte.
- Viñuales, G. M., Neves, C., Flores, M. O., Ríos, L. S., (eds), (1994) *Arquitetura de Tierra e Iberoamerica*. CITED, Buenos Aires.
- Zevi, Luca, (ed.), (2003). *Il Manuale del Restauro Architetonico*. Mancosu, Roma.