



Refuerzo estructural de una edificación histórica en la Ciudad de Rio Branco- Acre

D. C. S. Amorim¹, D. R. C. Oliveira¹

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pará, Brasil.

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v5i2.82>

Artículo recibido el 01 de Diciembre de 2014, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 30 de Marzo de 2015. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2016 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2016.

RESUMEN

Este trabajo presenta el uso de la técnica de refuerzo estructural por encamisado aplicada en la reforma de la edificación histórica denominada “Casarão”, debido a la necesidad arquitectónica de permanecer lo más fiel al proyecto original, justificándose por la intención de aumentar la capacidad resistente sin que haya aumento sustancial en la sección transversal de los pilares. Los resultados obtenidos a través del análisis del refuerzo en relación a los pilares rectangulares sometidos a flexión compuesta, esfuerzos cortantes y torsiones, en concordancia con la NBR 6118 (ABNT, 2014), indican que la técnica estudiada fue eficiente, pues todas las piezas reforzadas tuvieron una capacidad portante mayor que atiende a los requisitos actuales de seguridad estructural sin comprometer las características arquitectónicas de la edificación.

Palabras clave: edificio histórico; refuerzo estructural; revestimiento.

ABSTRACT

This work presents the use of the technique of structural reinforcement for jacketing applied in the reform of the historical building called "Big House", due to the architectural need to remain as faithful to the original design, justifying the need for increased resilience without substantial increase in the cross section of the pillars. The results obtained by analyzing the reinforcement relative to rectangular columns subjected to bending, shearing and torsional, in accordance with the NBR 6118 (ABNT, 2014), indicated that the studied technique was efficient because all reinforced parts had a greater bearing capacity and met the current requirements without compromising the structural safety of the building's characteristic architectural.

Keywords: historic building; structural strengthening; jacketing.

RESUMO

Este trabalho apresenta o emprego da técnica de reforço estrutural por encamisamento aplicada na reforma da edificação histórica denominada “Casarão”, devido à necessidade arquitetônica de permanecer o mais fiel ao projeto original, justificando-se pela necessidade do aumento de capacidade de resistência sem que haja aumento substancial na seção transversal dos pilares. Os resultados obtidos através da análise do reforço em relação aos pilares retangulares submetidos à flexão composta, esforços cortantes e torsores, em concordância com a NBR 6118 (ABNT, 2014), indicaram que a técnica estudada foi eficiente, pois todas as peças reforçadas tiveram uma capacidade portante maior e atenderam aos requisitos atuais de segurança estrutural sem comprometer as características arquitetônicas da edificação.

Palavras-chave: edificação histórica; reforço estrutural; encamisamento.

Autor de correspondencia: Denis Cley Souza Amorim (deniscley25@yahoo.com.br)

© 2015 ALCONPAT Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 5, No. 3, Septiembre – Diciembre 2015, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat_int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de publicación: 30 de mayo de 2015.

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

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

1. INTRODUCCIÓN

El “Casarão” (Figura 01), edificio público construido en la década de 1930, representa una estructura mixta de concreto armado y madera en buen estado de conservación en su parte central, manteniendo características arquitectónicas eclécticas sirias y libanesas, con influencia europea, representando un estilo regional de gran importancia cultural de la Ciudad de Rio Branco, en el estado de Acre. Su revitalización atiende a una demanda de la sociedad al gobierno estatal, que recibió una solicitud con centenas de firmas con esa querrela. El edificio histórico fue derribado por el Consejo Estadual de Patrimonio Histórico y Cultural en el día 13 de agosto de 2009, por iniciativa de la sociedad civil, siendo homologado el día 30 de abril de 2010, a través del decreto número 5.235, sobre la protección y vigilancia del poder público estatal, por intermedio del Departamento de Patrimonio Histórico y Cultural de la Fundación de Cultura y Comunicación Elias Mansour.



Figura 1. El Casarão.

En este estudio de caso los pilares de la edificación fueron evaluados analítica y computacionalmente para verificación de sus resistencias, atendiendo a los requisitos vigentes de seguridad estructural. Así como en diversas edificaciones antiguas en la ciudad de Rio Branco, el concreto de estas columnas fue dosificado con trozos de ladrillos como agregado grueso en sustitución de los agregados normalmente usados, como canto rodado y piedra. No habiendo comprobación técnica de la resistencia de este material para atender la norma NBR 6118 (ABNT, 2014), se realizaron procedimientos de extracción de núcleos y los resultados presentan resistencia a la compresión del concreto por debajo de lo especificado en el proyecto estructural de reforma del edificio, realizado con ayuda de un programa computacional. La verificación de los resultados obtenidos en este refuerzo se vuelve importante porque la técnica del encamisado con concreto armado es la más usada y aun así representa dificultades de ejecución en obras históricas debido a la necesidad arquitectónica, consideradas culturalmente indispensables en el patrimonio arquitectónico de la ciudad, debiendo permanecer lo más fiel a su forma original, sin que haya aumento sustancial en la sección transversal de las columnas. El encamisado del concreto armado es viable en virtud de las ventajas económicas, rapidez de ejecución y coherencia con el proyecto arquitectónico.

2. METODOLOGIA ADOPTADA

2.1 Características de la edificación y del proyecto.

La edificación a ser revitalizada se llama Casarão y se localiza en la Avenida Brasil número 310, en la ciudad de Rio Branco, estado de Acre. Posee 405,1 m² de área construida, el Casarão es compuesto de sótano, planta baja y primer piso, con un estacionamiento de 705,0 m² detrás es un área libre de 154,7 m² en el frente. Todas las etapas del proceso de revitalización del edificio fueron de responsabilidad del Gobierno del Estado de Acre y siguieron un cronograma ejecutivo previamente establecido y detallado. El plano director municipal, a través da ley 1611 de 27 de Octubre de 2006, clasificó el Casarão como una edificación localizada en la ZPHC (Zona de Preservación Histórica Cultural), con índice de ocupación de 70% (810,0 m²), coeficiente de aprovechamiento 6 (7.800,0 m²) y con índice de permeabilidad de 10% (130,0 m²). Durante el proceso de revitalización fue constatada la necesidad de refuerzo estructural apenas en el trecho del sótano de los pilares 21, 30 e 41 para las nuevas cargas, lo que no ocurrió con los demás pilares. La Figura 2 (forma pavimento superior) muestra la situación original de los pilares y la propuesta de refuerzo.

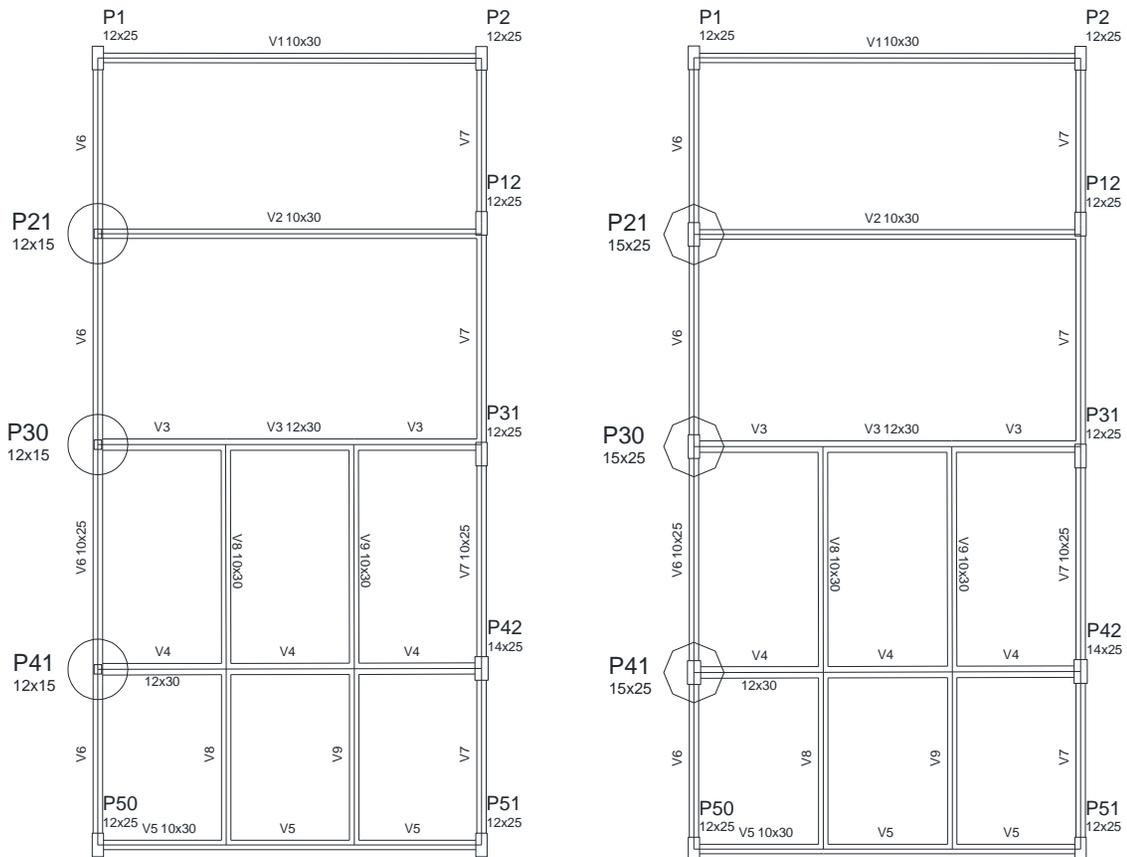


Figura 2. Ubicación y dimensiones de los pilares P21, P30 y P41 antes y después del refuerzo (derecha).

En la reforma de la edificación, fueron mantenidos los elementos de época y las áreas construidas que no estaban en el proyecto arquitectónico original fueron removidas. Los servicios realizados comprendieron la revitalización de las paredes originales de madera, refuerzo estructural de los pilares, sustitución del revestimiento interior del techo, de la estructura de la cubierta, del tejado,

de las tablas del piso de planta baja y primer piso, cambio de las instalaciones eléctrica, de lógica, sanitarias y de sistema contra incendios, creación del área de estar con bancos y papeleras, mantenimiento de tres salas en el primer piso y confección de paredes en los tres pisos. La Figura 3 muestra el aspecto de las fachadas laterales y frente del proyecto de revitalización.



Figura 3. Aspecto final proyectado para el Casarão.

2.2 Verificación del problema.

Para la verificación de la seguridad de la estructura existente, fueron realizadas visitas de fiscalización y seguimiento al sitio de obra durante la ejecución de la obra de revitalización, donde fueron identificados los procedimientos, técnicas y equipos utilizados en las intervenciones, siendo realizado el registro fotográfico en todas las etapas del proceso ejecutivo en los años de 2009 y 2010. Antes de realizar cualquier procedimiento en la estructura, el equipo técnico evidenció la importancia de ensayos de compresión axial en núcleos de concreto para la identificación de eventuales problemas relacionados con la resistencia del concreto, una vez que el mismo usado originalmente fue confeccionado con trozos de ladrillos y tejas. Los resultados de los ensayos indican, de modo general, que el concreto usado fue de baja resistencia a la compresión y contenía agregado grueso con mayor dimensión de hasta 50 mm, lo que contribuyó para la formación de cangrejas en algunas columnas. Cabe resaltar que el uso de agregado grueso derivado de la producción de elementos cerámicos, como ladrillos y tejas, todavía es práctica común en la ciudad de Rio Branco, donde existe escasez de piedra y canto rodado. La Figura 4 muestra el local de extracción del testigo de uno de los pilares y la Tabla 1 presenta los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión de los núcleos de concreto de los pilares 21, 30 y 41, cuyos análisis posteriores indican la necesidad de refuerzo estructural en el tramo del sótano.

Además de la baja resistencia a la compresión, también fue verificado que las armaduras de algunos pilares tenían un estado de corrosión avanzado y una severa pérdida de masa, comprometiendo la capacidad resistente las cargas de servicio y hasta las cargas fijas, pues algunas barras fueron totalmente seccionadas por la corrosión. La Figura 5 muestra el aspecto de las barras corroídas en las armaduras de los pilares. Se concluye que los daños eran característicos de procesos de deterioro con naturaleza sistémica, es decir, relacionados con la calidad del concreto utilizado en la ejecución del sistema estructural y, principalmente, al espesor de

recubrimiento del acero que presentó valores entre 10 mm y 15 mm, considerados reducidos para propiciar la necesaria vida útil a la estructura vaciada con concreto conteniendo agregados tan porosos.



Figura 4. Local de la extracción de testigo en un pilar.

Tabla 1. Resistencia a la compresión do concreto.

| Pilar | Núcleos (MPa) | Proyecto de refuerzo (MPa) |
|--------------|----------------------|-----------------------------------|
| P21 | 13,7 | 25,0 |
| P30 | 20,1 | |
| P41 | 14,7 | |
| Média | 16,2 | |



Figura 5. Armadura longitudinal corroída en los pilares.

2.3 Refuerzo estructural.

La metodología empleada en la definición de la técnica de refuerzo estructural a ser usada consideró el conjunto de informaciones sobre el estado de conservación de toda la estructura, buscando llevar al ingeniero proyectista del refuerzo a elaborar un diagnóstico más preciso sobre las causas y consecuencias de las patologías encontradas, pues, de acuerdo con Julio *et al.* (2003), el éxito de las actividades de recuperación o intervención en la estructura depende de una definición clara y precisa acerca de los problemas encontrados, contemplando el diagnóstico y el pronóstico evolutivo de las causas actuantes. Este estudio preliminar fue fundamental para la determinación del nivel de intervención a ser realizado en la estructura, que puede variar de simples reparaciones localizado hasta la necesidad de demolición y reconstrucción. Para el refuerzo estructural fue escogida la técnica de encamisado con concreto armado, pues el concreto puede ser lanzado en moldes o proyectado, volviéndose un material más versátil para el refuerzo o recuperación de estructuras de concreto armado, siendo utilizado en todos los tipos de elementos estructurales y en las más diversas situaciones y condiciones (Mehta & Monteiro, 2014). El refuerzo estructural fue entonces indicado para los pilares 21, 30, 41, en el tramo del sótano, siendo las etapas principales constituidas por repicado de la superficie de los pilares, colocación de la armadura adicional, instalación de los moldes de madera y lanzamiento del concreto con resistencia a la compresión (f_{ck}) de 25 MPa.

2.3.1 Concreto. El concreto utilizado en el refuerzo estructural tuvo su inspección y fiscalización siguiendo las recomendaciones de la norma brasileña para proyecto de estructuras de concreto, NBR 6118 (ABNT, 2014), y el dimensionamiento de la mezcla para llegar a la resistencia a compresión del concreto (f_{ck}) de 25 MPa proporcionó la dosificación en volumen de 1:2:3 y relación agua cemento de 0,5, utilizando agregado grueso de diámetro máximo igual a 9,5 mm. La verificación de la resistencia a compresión del concreto fue realizada por el laboratorio especializado que realizó el vaciado “en sitio” de probetas cilíndricas con 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. Fueron vaciadas 3 probetas para cada mezcla realizada por funcionarios de la empresa ejecutora del refuerzo estructural, que fueron entrenados en control de calidad para que la mezcla dimensionada alcanzara la resistencia la compresión especificada por el proyectista del refuerzo estructural.

2.3.2 Armaduras. Las armaduras longitudinales y transversales (estribos) antes y después del refuerzo estructural de los pilares fueron compuestas por barras de acero con los diámetros, cantidades y separaciones presentados en la Tabla 2. El recubrimiento de concreto para los pilares fue de 25 mm y 15 mm la menor y la mayor dirección, respectivamente. La Figura 6 muestra detalles de las secciones de los pilares antes y después del refuerzo estructural por encamisado con el concreto armado, y la Figura 7 muestra los detalles de las armaduras transversales y longitudinales. Los pilares P21, P30 y P41 fueron reforzados apenas en el sótano por ser el tramo donde esos pilares presentaban coeficientes de seguridad debajo de los recomendados por la norma brasileña para proyecto de estructuras de concreto armado para las cargas. La Figura 8 muestra la colocación de las armaduras, donde es posible observar que a pesar de los esfuerzos para preservar al máximo la arquitectura original, las menores dimensiones finales de los pilares, incrementadas por la capa de mortero de revestimiento 20 mm de espesor, fueron mayores que el espesor de la pared.

Tabla 2. Dimensiones de la sección transversal y armaduras de los pilares.

| Pilar | Dimensiones del pilar | | Acero | | |
|-------|--------------------------|----------------------|---|---|--|
| | Sección transversal (mm) | | Armaduras (mm) | | Tensión de escurrimiento de proyecto (MPa) |
| | Antes del refuerzo | Después del refuerzo | Antes del refuerzo: Longitudinal / Estribos | Después del refuerzo: Longitudinal / Estribos | |
| P21 | 120 x 150 | 150 x 250 | 4Ø10,0 / Ø5,0c150 | 4Ø12,5 / Ø5,0c150 | 435 |
| P30 | | | | | |
| P41 | | | | | |

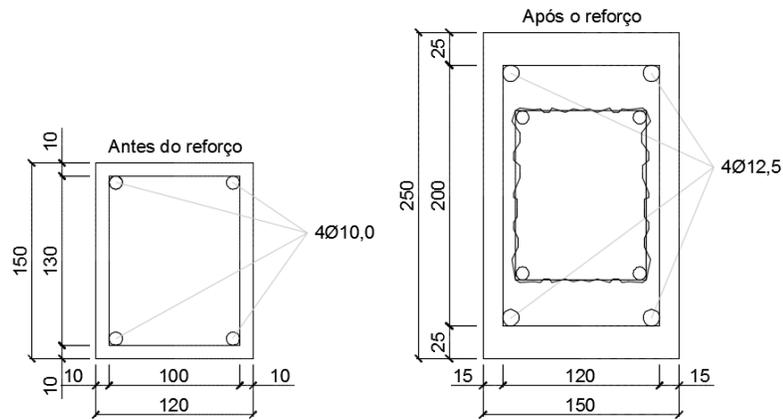


Figura 6. Sección transversal de los pilares antes y después del refuerzo.

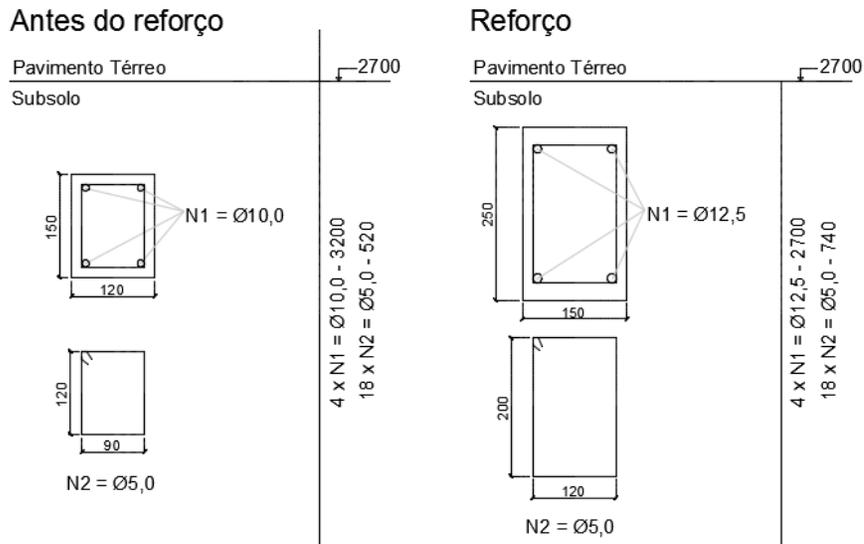


Figura 7. Armaduras de los pilares a reforzar y el refuerzo.



Figura 8. Armaduras longitudinales y estribos del refuerzo de los pilares.

2.3.3 Vaciado del concreto. Para que hubiese mayor adherencia entre el concreto viejo y el concreto nuevo las superficies de los pilares fueron humedecidas para posteriormente lanzar el concreto. El concreto fue lanzado cuidadosamente (Figura 9) y la compactación fue realizada con vibrador de inmersión de diámetro de aguja de 20 mm, primeramente en 50% del volumen de concreto lanzado en cada pilar y, posteriormente, en el volumen restante. Después de la retirada de los moldes de madera los pilares recibieron una capa de revestimiento de mortero para posibilitar el acabado final, es decir, pintura. La Figura 10 muestra el aspecto final de los pilares con las menores dimensiones sobrepasando en 35 mm el espesor de la pared.



Figura 9. Vaciado del concreto de refuerzo de los pilares.



Figura 10. Aspecto final de los pilares reforzados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Verificación de la seguridad de los pilares originales.

La metodología de cálculo para la verificación de la seguridad de los pilares con y sin refuerzo estructural siguieron las recomendaciones normativas de la NBR 6118 (ABNT, 2014). Primeramente fue realizado un análisis simplificado donde fueron determinados y comparados apenas los esfuerzos normales y solicitaciones de los pilares P21, P30 y P41 antes del refuerzo, con su fuerza normal solicitante mayorada de γ_u (Ecuación 1) y de un coeficiente de mayoración adicional (Ecuación 2). Ya el esfuerzo normal resistente de cálculo fue determinado con la Ecuación 3, siendo que la Ecuación 4 fue utilizada para determinar la resistencia a compresión de cálculo del concreto (f_{cd}) y la Ecuación 5 viabiliza la determinación del coeficiente de seguridad de cada pilar.

a) Parámetros de la Sección transversal. La Sección transversal de pilares y pilares-pared macizos, cualquiera que sea su forma, no debe presentar dimensión menor que 190 mm. Como la menor dimensión del pilar es inferior a 190 mm, en el dimensionamiento las acciones deben ser multiplicadas por un coeficiente adicional γ_n , indicado en la Tabla 3, donde b es la menor dimensión de la Sección transversal del pilar. Para los pilares analizados, $\gamma_n = 1,35$ ($b=120$ mm).

Tabla 3. Valores del coeficiente adicional γ_n NBR 6118 (ABNT, 2014)

| b (mm) | ≥ 190 | 180 | 170 | 160 | 150 | 140 | 130 | 120 |
|------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| γ_n | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,20 | 1,25 | 1,30 | 1,35 |

b) Fuerza normal solicitante

$$N_{Sd,Eq} = \gamma_u \cdot \gamma_n \cdot N_{Sk} \tag{1}$$

$$\gamma_u = 1 + (6/b) \tag{2}$$

c) Fuerza normal resistente de la Sección transversal

$$N_{Rd} = 0,75 \cdot f_{cd} A_c + f_{yd} \cdot A_s \tag{3}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} \tag{4}$$

d) Verificación de la seguridad

$$\gamma_f = \frac{N_{Rd}}{N_{sd}} \tag{5}$$

El esfuerzo normal solicitante (N_{Sk}) fue obtenido a través del programa Altoqi Eberick 2002 y los resultados encontrados con el análisis preliminar para los coeficientes de seguridad de los pilares P21, P30 y P41 antes del refuerzo no atienden a los requisitos de seguridad normativos, como el que se presenta en la Tabla 4. En la Figura 11 se muestran las envolventes de los esfuerzos resistentes para esos pilares, es decir, con la consideración de los momentos flectores solicitantes y resistentes característicos, sin ningún coeficiente de mayoración o minoración de las acciones. En este caso, se observa que los momentos flectores son preponderantes y desestabilizan los pilares (Marí & Hellesland, 2005), lo que no ocurrió porque las cargas que se solicitaron a la estructura fueron significativamente inferiores a las consideradas en su dimensionamiento. También es posible concluir en este análisis más detallado que el progreso de la corrosión en las armaduras reduciría significativamente la capacidad resistente de los pilares a flexión y también que las cargas máximas previstas en proyecto no ocurriesen, pequeños incrementos podrían causar la pérdida de estabilidad de los pilares (Tang & Yang, 2011), quedando evidente la necesidad de refuerzo de esos pilares.

Tabla 4. Coeficientes de seguridad de los pilares antes del refuerzo

| Pilar | f_{ck} (MPa) | f_{cd} (MPa) | f_{yd} (MPa) | A_c (mm ²) | A_s (mm ²) | γ_u | γ_n | N_{Sk} (kN) | $N_{Sd,Eq}$ (kN) | N_{Rd} (kN) | γ_f |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|------------|------------------|---------------------|------------------|------------|
| P21 | 13,7 | 9,9 | 435 | 18000 | 482 | 1,5 | 1,35 | 119 | 240 | 155 | 0,65 |
| P30 | 20,1 | 14,4 | | | | | | 198 | 400 | 215 | 0,54 |
| P41 | 14,7 | 10,5 | | | | | | 176 | 356 | 164 | 0,46 |

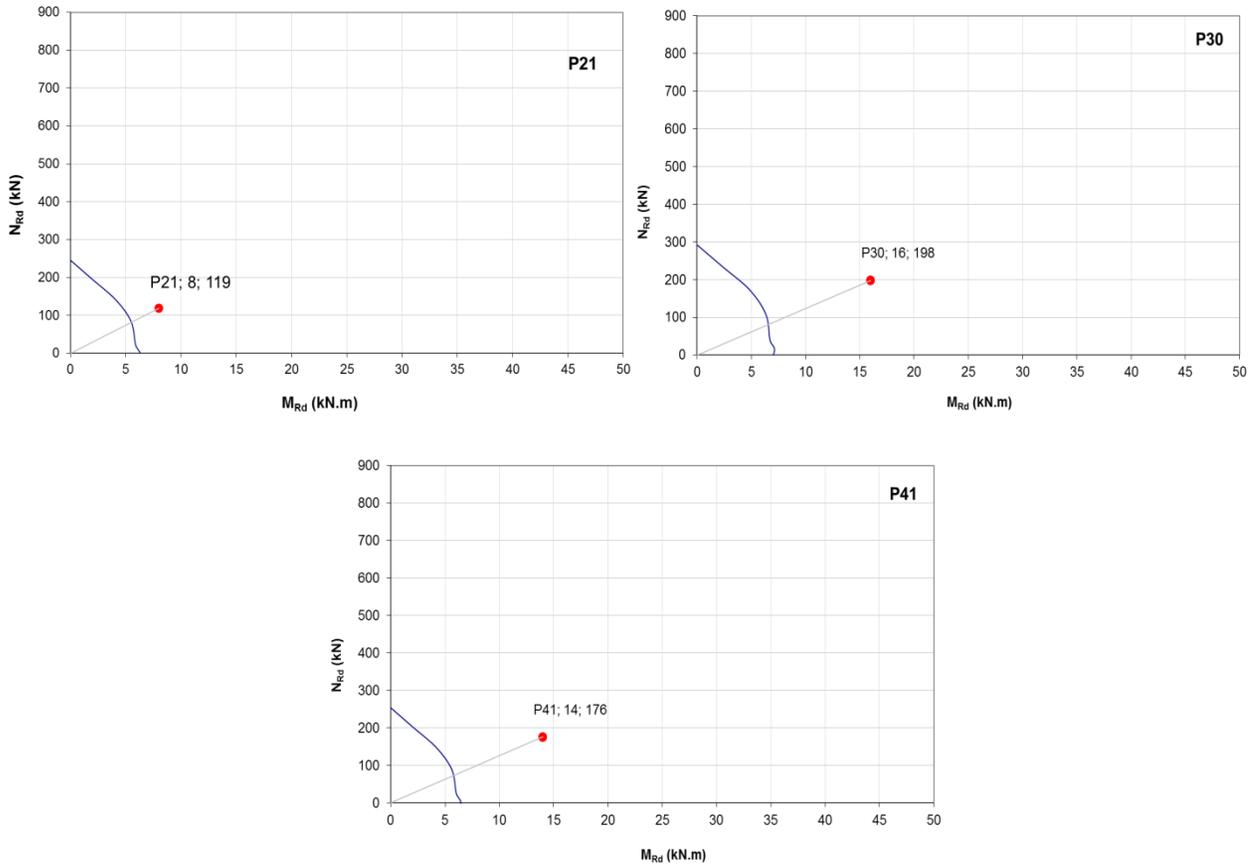


Figura 11. Envoltentes de los pilares 21, 30 y 41 antes del refuerzo.

3.2 Verificación de la seguridad de los pilares reforzados.

La verificación de la seguridad en el cálculo de los pilares P21, P30 y P41 reforzados fue basada en las recomendaciones de la NBR 6118 (ABNT, 2014) siguiendo los mismos criterios utilizados para los pilares originales, sin refuerzo. Los resultados son presentados a través de las envoltentes de la Figura 12. Los coeficientes de seguridad de cada pilar fueron determinados por la relación entre el largo de la línea recta del origen de la envolvente para el refuerzo, pasando por el punto relativo a las solicitaciones, y la distancia de ese punto de origen, y son presentados en la Tabla 5.

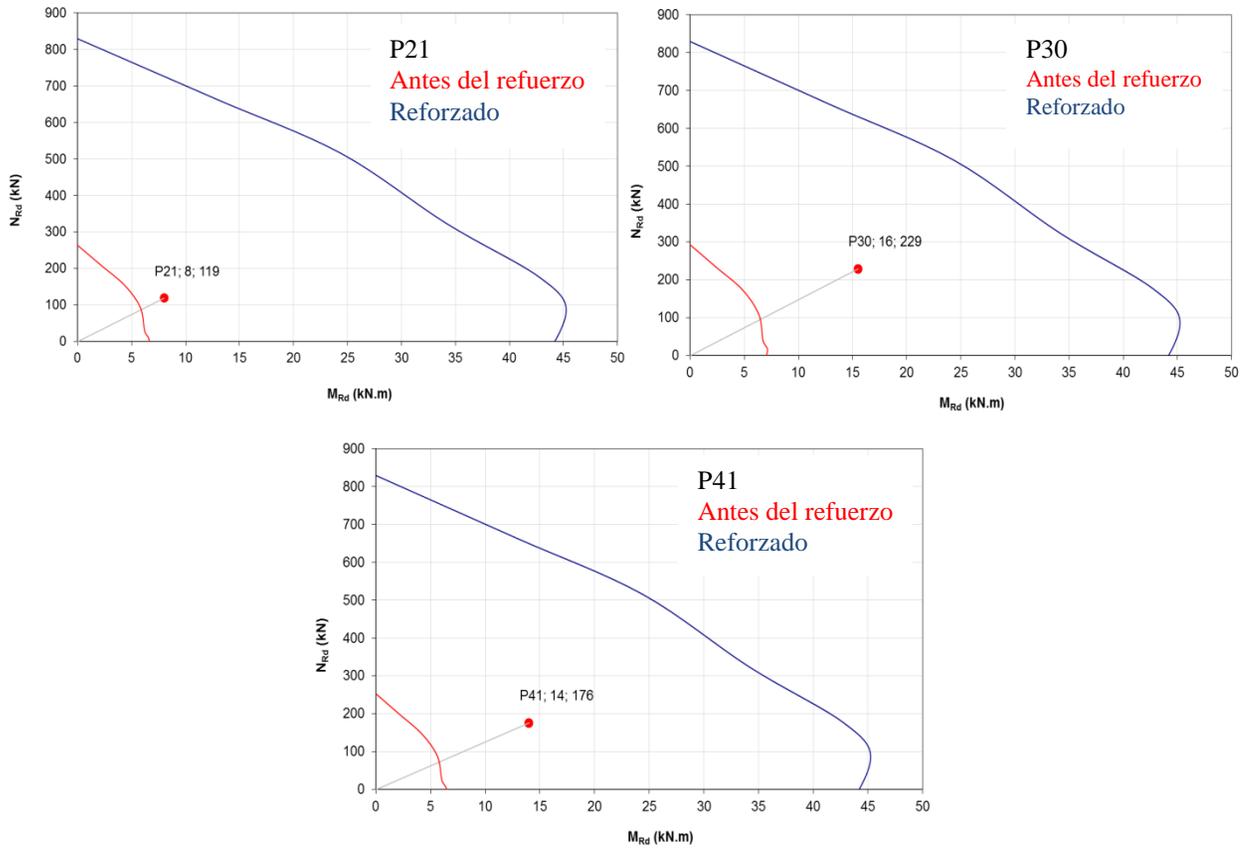


Figura 12. Envolventes de los pilares 21, 30 y 41 reforzados.

Tabla 5. Valores de los coeficientes de seguridad

| Pilar | Coficiente de seguridad final |
|-------|-------------------------------|
| P21 | 3,5 |
| P30 | 1,8 |
| P42 | 2,1 |

4. CONCLUSIONES

Fueron presentados problemas estructurales que llevaron a la necesidad de reforzar los pilares P21, P30 y P41 de la edificación histórica Casarão, por no cumplir las recomendaciones de la norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014). Se considera que la técnica de refuerzo estructural propuesta para estos pilares, a través del encamisado con concreto armado, fue viable en virtud de las ventajas económicas, rapidez de ejecución y coherencia con el proyecto arquitectónico. Su aprobación fue comprobada con la verificación de los parámetros de cálculo normativos, resaltando que la intervención ejecutada en los elementos estructurales, por mas sencillos que sean, fue precedida de análisis estructural con programas computacionales actualizados y aumento la seguridad de los pilares de la edificación histórica a niveles satisfactorios.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Post Grado en Ingeniería Civil de la Universidad Federal de Pará, Secretaria de Estado de Infraestructura y Obras Públicas de Acre - SEOP, IPEAM, TEGAM e COC - unidad Rio Branco.

REFERENCIAS

- Associação brasileira de normas técnicas (2014), “*NBR 6118 – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado*” (Rio de Janeiro, Brasil: ANBT), p. 238.
- Júlio, E. S.; Branco, F.; Silva, V. D. (2003), “*Structural Rehabilitation of Columns using Reinforced Concrete Jacketing*”, *Progress in Structural Engineering and Materials*, V.5, pp. 29-37.
- Marí, A.; Helleland, J. (2005), “*Lower Slenderness Limits for Rectangular Reinforced Concrete Columns*”, [Journal of Structural Engineering](#), V.131, pp. 85-95.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. (2014), “*Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*” (São Paulo, Brasil: Nicole Pagan Hasparyk), p.782.
- Tang, C. H.; Yang, Y. C. (2011), “*Loading Correlation for Reliability Analysis of Reinforced Concrete Columns*”, [Advanced Materials Research](#), V.243-249, pp.396-405.